

Experiencias en metalurgia a través de un laboratorio remoto flexible con dispositivos programables

Metallurgy experiences through a flexible remote laboratory with programmable devices

Silvia Clavijo^{1*}, Graciela Serrano¹ y Lidia Catalán¹

¹Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo

*E-mail: scclavijo@fcai.uncu.edu.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar la potencialidad del laboratorio remoto a partir del uso de un simulador de horno de arco eléctrico como recurso de aprendizaje en un momento en el cual debido a las circunstancias imperantes es imposible realizar visitas a empresas del sector metalúrgico. Este simulador ha sido utilizado regularmente por estudiantes del ciclo superior de ingeniería química y ha sido evaluado mediante encuestas a fin de indagar si es posible la realización de experiencias reales en facultades que no cuentan con el equipamiento necesario. En simultáneo se analizaron los informes presentados por los alumnos para evaluar los aprendizajes alcanzados utilizando el Modelo Argumental de Toulmin. En este documento se presenta en primer lugar la descripción del simulador del horno de arco eléctrico, el análisis de las opiniones de los alumnos y los argumentos identificados en las respuestas a las situaciones planteadas. Los resultados obtenidos permiten afirmar que el uso de laboratorios remotos y simuladores es útil pues permite a los alumnos participar activamente en la construcción de su propio aprendizaje, y elaborar conclusiones basadas en datos reales.

Palabras clave: Enseñanza de la metalurgia; simuladores; laboratorios remotos; modelo de argumentación de Toulmin.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the potential of the remote laboratory based on the use of an electric arc furnace simulator as a learning resource at a time when, due to the prevailing circumstances, it is impossible to visit companies in the metallurgical sector. Advanced chemical engineering students have regularly used the remote laboratory and simulators and have evaluated it through surveys in order to investigate whether it is possible to carry out real experiences in faculties that do not have the necessary equipment. Simultaneously, the reports presented by the students were analyzed to evaluate the learning achieved using the Toulmin Argumentative Model. This document first presents the description of the electric arc furnace simulator, the analysis of the opinions of the students and the arguments identified in the responses to the situations raised. The results obtained allow us to affirm that the use of remote laboratories and simulators is useful as it allows students to actively participate in the construction of their own learning, and draw conclusions based on real data.

Keywords: Keywords: Teaching of metallurgy; simulators; remote labs; Toulmin argumentation model.

I. INTRODUCCIÓN

Una experiencia de aprendizaje completa en educación en ingeniería debe incluir la experimentación con sistemas reales para introducir prácticas y desarrollar habilidades profesionales, apoyar conceptos analíticos e incrementar la participación activa de los estudiantes (Lindsay y Good, 2007). Las prácticas de laboratorio constituyen una parte crucial para la obtención de un título universitario en ingeniería. Por eso se consideran primordiales para desarrollar destreza en el manejo de equipos, y habilidades sociales y de trabajo en equipo en el marco de un entorno técnico.

Los laboratorios remotos, a diferencia de los virtuales, son experimentos reales que utilizan *software* y *hardware* para posibilitar que los estudiantes realicen sus prácticas como si estuvieran en un laboratorio tradicional. Esta modalidad de trabajo permite optimizar recursos limitados, en términos de equipamiento y material disponible en las universidades (Restivo, M. Mendes, J. Lopes, A., 2009; de Oliveira, Schneider, 2007; Grimaldi, Rapuano, 2009). Los laboratorios remotos han demostrado ser herramientas educativas efectivas en ingeniería, debido a que un laboratorio tradicional tiene sesiones prácticas en un horario fijo programado periódicamente y con un tiempo limitado para la finalización de la actividad y en ocasiones el estudiante siente que no alcanzó todos los objetivos o que no comprendió con suficiencia todas las experiencias del laboratorio (Lorandi *et al.*, 2011; Corter, *et al.*, 2007; Prada *et al.*, 2015). Actualmente se están diseñando laboratorios remotos para metalurgia. Los experimentos van desde simulaciones de sensores y controladores de diferentes tipos de hornos hasta la captación de datos provenientes de laboratorios reales que analizan la química del proceso durante el tiempo que dure la operación (Dat *et al.*, 2020). La Universidad del Acero es un programa de aprendizaje y entrenamiento de la Asociación Mundial del Acero que pone a disposición de estudiantes universitarios y personal entrenado del sector, recursos educativos en línea que permiten comprender en profundidad todos los dispositivos y procesos involucrados en la industria siderúrgica. El sistema se implementa aplicando los datos desarrollados localmente para realizar experiencias en vivo. El usuario tiene control para elegir la composición química de la materia prima, aplicar las condiciones termodinámicas adecuadas, y controlar los sensores y dispositivos que ofrece la simulación (Dong *et al.*, 2020). En este documento se ha descrito con detalle el recurso utilizado, y se han presentado a continuación las opiniones y problemáticas que surgieron al utilizar el simulador.

La construcción del conocimiento educativo es en realidad un proceso de elaboración, en el sentido de que el alumno selecciona, organiza y transforma la información que recibe de muy diversas fuentes, estableciendo relaciones entre dicha información y sus ideas y conocimientos previos. De este modo, las propuestas didácticas diseñadas o seleccionadas para la enseñanza de la metalurgia deben estar en correspondencia con esos procesos (Porfirio, P. M., 2004). A fin de evaluar los resultados de aprendizaje obtenidos se analizaron - a modo de estudio de caso- los argumentos que emplean un conjunto de alumnos al resolver diversas situaciones propuestas durante la operación del laboratorio. Como el desarrollo de habilidades cognitivas implica construir argumentos, se ha seleccionado el Modelo Argumental de Toulmin para analizar los informes de laboratorio presentados por los estudiantes. Toulmin (1958) describe una estructura mínima que debe verificar una argumentación, asumiendo que existen normas universales para construir y evaluar argumentos que están ligados a la lógica formal. Según el modelo de este epistemólogo, en una argumentación a partir de datos obtenidos o fenómenos observados, es posible llegar a una conclusión o tesis justificándola de forma relevante a partir de garantías o razones fundamentadas en el conocimiento científico consensuado. Las razones para utilizar un modelo de argumentación que permita evaluar habilidades cognitivas se basan en que, de acuerdo a lo expresado por varios autores que investigan en el área de la didáctica de las ciencias, los procesos de enseñanza aprendizaje en los que se incluye el razonamiento científico aportan significativamente a la comprensión de los propios conceptos, a una valoración de la relatividad de las ciencias y a la formación de estudiantes críticos. La única manera de aprender a producir argumentaciones científicas es producir textos argumentativos en las clases de ciencias, discutiendo las razones, justificaciones y criterios necesarios para elaborarlas (Sardá, J., Sanmartí, 2000). Destacamos entonces la importancia de que los estudiantes desarrollen habilidades para formular y justificar puntos de vista articulados entre sí, sobre todo cuando se encuentran cercanos a insertarse en el campo profesional de la ingeniería. Los procesos de enseñanza y aprendizaje que ocurren en nuestras aulas deben ocuparse en desarrollar esta capacidad. De allí que el analizar las argumentaciones producidas por los alumnos permite acercarse al logro de razones fundamentadas que se aproximan al razonamiento científico compartido.

II. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO REMOTO

El horno de arco eléctrico (EAF) es actualmente la forma más común de reciclar acero a partir de chatarra. Al fundir minerales de hierro y aglomerados prerreducidos en un horno con la ayuda de electrodos y corriente eléctrica, se puede producir acero funcional a partir de la reutilización de productos siderúrgicos. En lugar de desplegar recursos de materia prima, se pueden reutilizar elementos básicos de acero y aleaciones valiosas, lo cual es beneficioso tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. El calor requerido para derretir la chatarra de acero es proporcionado por arcos eléctricos creados entre los electrodos y desechos del horno. La potencia eléctrica de los se encuentra en el rango de 50-120 MW, dependiendo del tamaño del horno. La fusión se produce a 1500-1550 ° C, dependiendo de la composición química de los materiales. Después de que la chatarra se ha derretido, la temperatura aumenta para poder llevar a cabo reacciones de refinación. Se pueden inyectar oxígeno y carbono en las fases de acero y escoria, respectivamente. Sin embargo, las reacciones también pueden crear productos perjudiciales para la calidad del acero y que, por lo tanto, deben manejarse con cuidado. Se puede acceder al laboratorio remoto descrito en el

presente trabajo a través de Internet mediante una comunicación servidor-cliente, donde la PC del alumno está conectada a la PC del servidor del laboratorio mediante una Red Virtual de Computación (VNC). Se realiza una inscripción gratuita en la web de la universidad del acero (<https://steeluniversity.org/product/electric-arc-furnace-simulation/?lang=es>) El laboratorio remoto se integra en un navegador Web lo que facilita la sencillez de uso por parte de los alumnos.

Una vez que se ha ingresado a la simulación es posible operar todo el proceso desde dos niveles: estudiante universitario o trabajador de la industria siderúrgica, correspondiendo el nivel más bajo de complejidad al rol de estudiante universitario. A simple vista, la metodología del EAF parece sencilla: proporcionar energía eléctrica para calentar y fundir la chatarra de acero. Sin embargo, todo el proceso tiene lugar en condiciones de temperatura extrema, lo que complica el mantenimiento del horno y la corrección de cualquier problema. Por ejemplo, para preservar el revestimiento refractario en el recipiente, los paneles de enfriamiento de agua están integrados en las paredes del horno. Sin un control cuidadoso de los sensores implicados en el proceso, pueden sobrecalentarse, por lo tanto, la temperatura debe ajustarse en consecuencia. Este procedimiento puede integrarse con el desarrollo de una práctica real en Planta Piloto donde el alumno desarrolle *scripts* de *Python* o *Arduino* a partir de la biblioteca virtual de ambos lenguajes para programar sensores para un horno de menor tamaño. La práctica comienza seleccionando el nivel de complejidad. Cuando se solicita a través del control los resultados de análisis realizados se obtienen como respuesta datos provenientes del laboratorio remoto y gráficas que deben ser interpretados recurriendo a modelos cinéticos y termodinámicos.

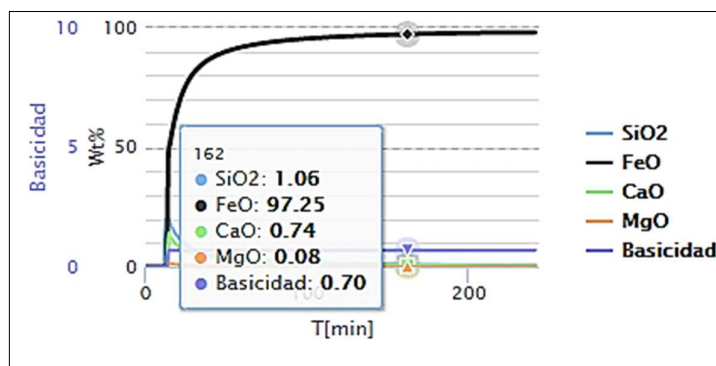


FIGURA 1. Ventanas de visualización de datos del laboratorio remoto EAF.

La figura 1 indica los resultados que ofrece el laboratorio remoto durante el proceso de fusión de la materia prima en el horno. La solicitud de composición se puede hacer la cantidad de veces que sean necesarias. Al finalizar el proceso el simulador permite descargar todas las curvas que indican cómo se desarrolló el proceso. Asimismo, es posible controlar en todo momento los sensores de humedad, temperatura y parámetros eléctricos.

III. EL ANÁLISIS DE LA ARGUMENTACIÓN SEGÚN EL MODELO DE TOULMIN

Stephen Toulmin (1958) presentó un modelo de argumentación que tiene como punto clave el análisis estructural de un argumento. A partir de datos obtenidos o fenómenos observados, es posible llegar a una conclusión o tesis justificándola de forma relevante desde garantías o razones fundamentadas en el conocimiento científico consensado. La afirmación de la conclusión puede apoyarse, en los calificadores modales o en los refutadores, y se recurre a ellos cuando no es posible aceptar una afirmación de manera concluyente; la aceptación, en estos casos, es provisional y depende de las condiciones en las cuales se realiza la afirmación.

Como se indica en la figura 2, las concepciones previas podrían formar parte del respaldo y este parte de la concepción, pero no necesariamente. Es una construcción compleja que se refiere a creencias globales y estrategias primarias que pueden expresarse en forma de "declaraciones categóricas" (Toulmin, 1958, p. 105). El respaldo vincula explícitamente el núcleo de un argumento a los supuestos básicos aceptados colectivamente. Eso podría ser parte de la concepción (es decir, un elemento de la estructura de control), o podría ser desde el exterior (por ejemplo, una pista proporcionada por el profesor). El criterio seguido para evaluar la competencia argumentativa considera:

Argumentación completa: Se pueden identificar los datos, la tesis y la garantía de manera explícita. Cuando la garantía de un argumento no aparece en el enunciado del mismo, se la llama garantía implícita;

Argumentación incompleta: Los argumentos incompletos son aquellos en los cuales, si bien los alumnos son capaces de identificar los datos y la tesis, la garantía a la que recurren aparece de manera implícita. En el discurso no científico suelen dejarse implícitas las garantías ya que pueden formar parte de un consenso. Sin embargo, cuando los alumnos argumentan en ciencia creemos que deben hacerse explícitas las leyes o principios involucrados;

No existe argumentación: No se reconoce un argumento como tal, no solo cuando el principio o ley no aparecen en el argumento, o es incorrecto, sino cuando a pesar de poder identificarse los datos y la tesis, la garantía no figura de forma implícita o explícita;

Argumentación correcta: las conclusiones son correctas cuando responden a la ley o fenómeno estudiado.

En la tabla 1 se describen los elementos mencionados y en la figura 2 se presenta un ejemplo basado en la simulación.

TABLA I. Componentes de un argumento.

Componente	Descripción
Garantía	Es el principio general, de naturaleza formal, que permite el paso de los datos a las conclusiones. Premisa que respalda la conclusión.
Respaldo	Cuerpo de contenidos desde donde emanan las garantías y que nos remiten a investigaciones, textos, que nos permiten afirmar una garantía.
Datos	Orden empírico o factual, permiten la emergencia de una pretensión o conclusión
Conclusiones	Demandas o alegatos que buscan posicionar una acción o perspectiva
Calificadores modales	Construcciones lingüísticas que permiten atenuar o destacar una pretensión.
Refutación	Son las circunstancias extraordinarias o excepcionales que pueden socavar la fuerza de los argumentos.

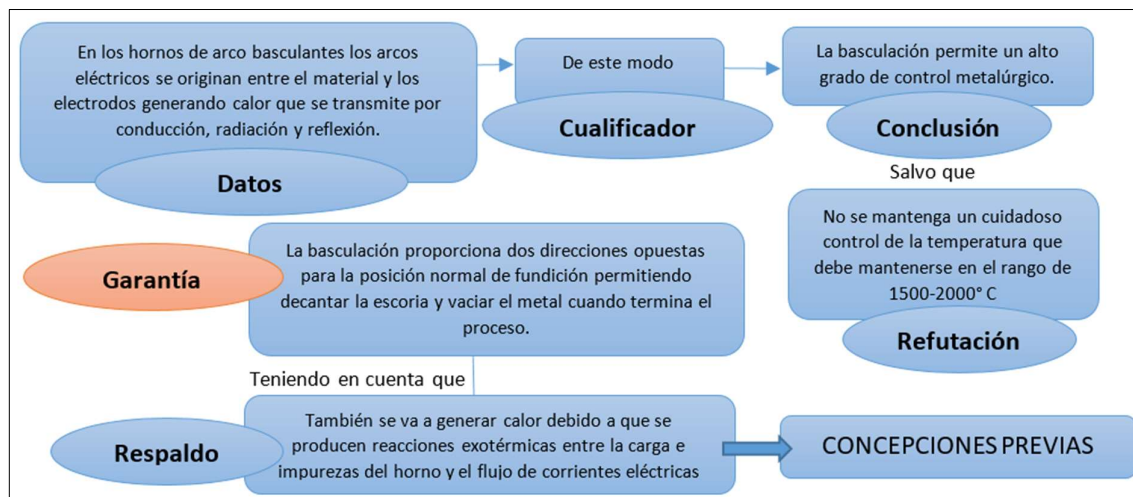


FIGURA 2. Modelo de Toulmin con todos sus componentes.

IV. Metodología

Con el propósito de estudiar si el uso de laboratorios remotos puede estimular el desarrollo de habilidades cognitivas se adaptó un enfoque de investigación cualitativa. La muestra se conformó con 12 alumnos que aprobaron con examen final la materia Industrias Mineras de Base Metálica que se dicta en 5 año de la carrera de Ingeniería Química en la ciudad de San Rafael, Mendoza, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Todos ellos tuvieron rendimiento académico comparable. Se trabajó con el laboratorio EAF durante la enseñanza de una unidad (seis lecciones). Un ejemplo de tareas que demandan o no respuesta a través de una estructura argumentativa (Vescance, J., Tamayo, A., 2014) se muestra en la tabla 2. A partir de la situación actual en que la pandemia de Covid-19 ha provocado el cierre casi universal de todos los niveles educativos, los docentes explicaron a los alumnos el funcionamiento del Laboratorio Remoto a través de clases grabadas con el programa Camtasia. Cada práctica desarrollada requirió la presentación de un informe y la participación en un foro de Moodle donde interactuaron con sus compañeros y los docentes a cargo

de las tutorías. Se utilizó como instrumento de evaluación del simulador una encuesta realizada a través de Formularios de *Google*. Los datos se analizaron con el programa *Minitab*.

TABLA II. Ejemplo de tareas diseñadas en función de la demanda argumentativa.

Categorías de análisis y descriptores	
<i>Demanda Argumentativa</i>	<i>Tarea propuesta</i>
Tareas cerradas sin demanda argumentativa	Obtener composición final del grado de acero elegido. Colarlo dentro de los límites de tiempo y temperatura. Minimizar el costo de toda la operación.
Se solicita la construcción de argumentos a partir de evidencia, bibliografía, experimentación y simulaciones	Se debe fabricar acero para la construcción que cumpla con la demanda de poder conformarse en frío, y someterse a procesos de <i>brazing</i> . Después de consultar las normas SAE correspondientes seleccione en el simulador EAF el producto adecuado que, además, debe poder utilizarse como material para fabricar carrocerías de auto. Para tal fin deberá seleccionar el grado final del acero, las materias primas que ingresarán a las canastas y calcular finalmente el costo económico de toda la operación. Como parte de la tarea asignada deberán indicar con base en qué principios y criterios se seleccionó la materia prima, el flujo de corriente de oxígeno, y las adiciones de material que tuvo que realizar para obtener el grado de basicidad y composición óptima del acero.
Demanda de evaluación de argumentos y evidencia	Habiendo concluido todo el proceso de elaboración del acero requerido debemos evaluar las soluciones propuestas por cada uno de los grupos de trabajo en cuanto a los siguientes parámetros: ¿Se respetaron todas las normas ambientales requeridas al proceso? ¿En qué leyes o principios se fundamentaron las propuestas de optimización del proceso? ¿Es consistente el grado de acero alcanzado en el proceso con las aplicaciones a las cuales será sometido, que evidencias podemos presentar al respecto? ¿A qué tipo de tratamientos y análisis metalográficos debería ser sometido el producto a fin de evaluar su calidad y qué reacondicionamiento podríamos proponer en el caso que el acero fabricado presente fallas?

V. RESULTADOS

A. Resultados de la Encuesta inicial

1) ¿Ha participado en experiencias que involucran el uso de un laboratorio comandado de forma remota?

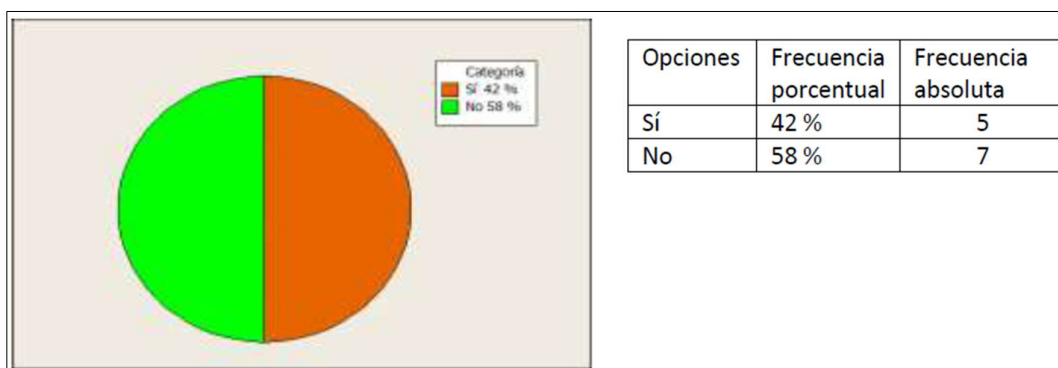


FIGURA 3. Realización de experiencias remotas.

2) El laboratorio remoto utilizado es útil para:

- Conocer el proceso de manufactura de diferentes tipos de acero
- Comprender el funcionamiento de equipamiento que normalmente no se encuentra disponible
- Entender cómo los conceptos teóricos son el fundamento de las prácticas realizadas.

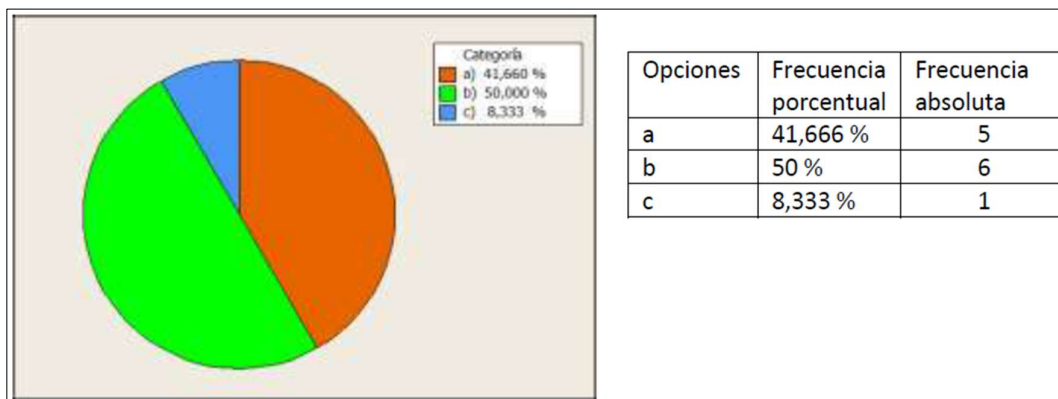


FIGURA 4. Utilidad del recurso.

3) ¿Qué tan difícil resultó el uso del simulador?

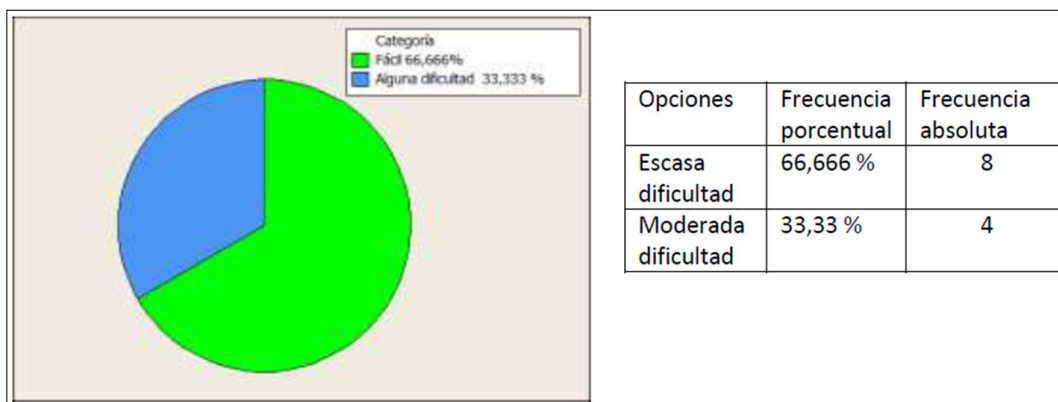


FIGURA 5. Dificultad de uso.

B. Ejemplo de los argumentos presentados de acuerdo al Modelo de Toulmin

Analizando los textos argumentativos que los alumnos presentaron como respuesta a las actividades propuestas durante el uso del simulador, podemos evaluar el tipo de justificación utilizada, haciendo un análisis desde la garantía propuesta. En los textos analizados de esta forma podemos encontrar dónde residen las dificultades de los estudiantes para comprender un concepto teórico dado. Se presentan al finalizar esta sección ejemplos de argumentos presentados por dos alumnos que han sido analizados de acuerdo al Modelo de Toulmin. Al examinar estos, podemos evaluar el tipo de argumentación esgrimida, haciendo un análisis desde la garantía propuesta. Como podemos apreciar al observar los argumentos de estos alumnos al ser indagados sobre los conceptos utilizados en la operación del laboratorio remoto, el esquema opera de la siguiente manera: a partir de una evidencia (datos) se formula una aserción (proposición) considerada como dato. Una garantía conecta los datos con la aserción y se ofrece su cimiento teórico, práctico o experimental: el respaldo. Los cualificadores modales indican el modo en que se interpreta la aserción como verdadera, contingente o probable. Finalmente, se consideran sus posibles reservas u objeciones. Como ha sido mencionado anteriormente la garantía en los argumentos científicos debe ser explícita y esto ocurre en los dos casos, por lo que podemos decir que la argumentación es completa. También son correctos los argumentos porque las conclusiones se ajustan al fenómeno en estudio. Desde el punto de vista de la competencia argumentativa, los alumnos 1 y 2 logran desarrollar argumentos completos. El análisis realizado muestra la factibilidad de evaluar en estos términos dicha competencia, como así también el grado de acercamiento al modelo científico. Cuando se analizó cada trabajo se lograron identificar 8 argumentos que pueden ser considerados completos y 4 argumentaciones incompletas lo que indica la necesidad de desarrollar actividades que estimulen el desarrollo de habilidades cognitivo lingüísticas.

TABLA III. Ejemplos de argumentación según el modelo de Toulmin.

ARGUMENTO Alumno 1	ELEMENTOS DEL ARGUMENTO	
<p>En los hornos modernos, la energía eléctrica se transfiere al acero en forma de arco eléctrico a través de tres electrodos. Cuando se comienza a operar un EAF la chatarra está fría y llena todo el recipiente del horno, si en ese momento se iniciase la fusión con una tensión elevada, el arco eléctrico sería inestable y el cuerpo del horno sufriría daños importantes. Por ello, la fusión se inicia con una tensión y potencia no muy alta. En el periodo inicial las puntas de los electrodos están rodeadas de chatarra y otros materiales como hierro esponja, por lo que la bóveda y las paredes se encuentran protegidas de la radiación del arco. En estas condiciones se puede incrementar la potencia y fundir rápidamente. Además, inicialmente se disminuye el riesgo de rotura de electrodos por la caída de chatarra que se funde rápidamente.</p> <p>Cuando la chatarra va fundiéndose y descendiendo para formar parte del metal líquido se desprotege la cuba, por lo que conviene bajar la potencia eléctrica, pasando a tensiones más bajas y un arco más corto.</p> <p>En esta etapa también se usa la inyección de oxígeno, para acelerar la fusión, ayudar a fundir la chatarra situada en los puntos fríos y lograr homogeneidad.</p> <p>Si no se controlara cuidadosamente la tensión y potencia durante el proceso se aceleraría el desgaste del material que constituye la cuba y sería necesario frenar el proceso con las consiguientes consecuencias económicas.</p>	Datos	Al iniciar la fusión la chatarra está fría y se llena todo el recipiente del horno junto a otros materiales. Las puntas de los electrodos están rodeadas de chatarra. La inyección de oxígeno ayuda a fundir la chatarra situada en puntos fríos y acelera la fusión
	Respaldo	Implícito. Campo Eléctrico
	Garantía	Si se inicia la fusión con una tensión elevada el arco eléctrico inestable daña el horno. Posteriormente se puede incrementar la potencia, aunque a medida que el proceso finaliza es necesario disminuir su valor y reducir el arco para proteger la cuba.
	Conclusión	El valor de tensión utilizado durante la fusión y el cuidadoso control de los parámetros eléctricos es sumamente importante para el cuidado del horno y la obtención de un producto uniforme y homogéneo.
	Calificador modal	Además, en estas condiciones,
	Refutación	Si no se controlara cuidadosamente la tensión y potencia durante el proceso se aceleraría el desgaste del material que constituye la cuba y sería necesario frenar el proceso con las consiguientes consecuencias económicas.
ARGUMENTO Alumno 2	ELEMENTOS DEL ARGUMENTO	
<p>A veces se piensa que el regulador de las corrientes del horno posee la capacidad de aumentar potencias, reducir consumos de energía, modificar longitudes y estabilizar los arcos, cuando en realidad es consecuencia única de los valores de tensión, corriente y reactancia del circuito que escoge el operador. Debemos evitar la sobrecarga del transformador y los conductores o perturbar excesivamente la red eléctrica. Pero salvo en casos extremos, los parámetros eléctricos de operación tienen poca influencia en la cantidad de energía necesaria para producir una determinada cantidad de acero. El consumo de energía para producir una tonelada de acero depende del tamaño del horno, del tipo de carga, de los tiempos de horno parado y de horno operativo, de las pérdidas térmicas en el ambiente y en el agua de enfriamiento de las paredes, de las pérdidas en la escoria, y, depende, también, de la temperatura de vaciado del acero, del rendimiento metálico y, entre otros factores, de las pérdidas de calor en los conductores.</p>	Datos	Los valores de tensión, corriente, reactancia son responsables de la potencia del horno. El consumo de energía es función de la carga, tiempo, pérdidas térmicas, pérdidas en la escoria y temperatura de vaciado.
	Respaldo	Conceptos de electrostática y electrodinámica.
	Garantía	La potencia del EAF es consecuencia única de los valores de tensión, corriente y reactancia. El consumo energético no depende exclusivamente de parámetros eléctricos sino de varios factores
	Conclusión	La efectividad de un EAF depende más de parámetros operativos que de parámetros eléctricos.
	Calificador modal	No obstante, en realidad.
	Refutación	No se explicita

En la producción realizada por los alumnos 1 y 2 se identificaron los elementos que permiten construir una explicación que puede ser considerada parte del conocimiento científico, concibiendo la metalurgia como un proceso dinámico y cambiante. No obstante, en el argumento correspondiente al alumno 2 no se ha explicitado una refutación. Este elemento de un argumento permite que los estudiantes identifiquen los errores que se puedan presentar en las garantías. El reconocimiento de los errores posibilita la construcción de nuevo conocimiento por lo que es necesario indicar a los alumnos la importancia de incluir refutaciones en el desarrollo de una justificación.

VI. CONCLUSIONES

El laboratorio remoto puede ser una herramienta útil en la educación en ingeniería, ya que ofrece la oportunidad de realizar experimentos prácticos en el entorno universitario donde el tiempo y los recursos financieros para las aplicaciones prácticas se han vuelto escasos. Cabe mencionar también, que su uso no sólo tiene interés desde el punto de vista de adquisición de las competencias propias de la metalurgia, sino que además capacita a los alumnos en competencias transversales como son el uso de las TIC o la colaboración entre pares de manera virtual. A partir del análisis de las opiniones de los alumnos, puede inferirse que un porcentaje alto de ellos reconoce que el laboratorio remoto es útil para comprender todos los parámetros que hacen a la operación del horno de arco eléctrico y cómo estos se interrelacionan entre sí. La argumentación siempre ha sido un elemento clave en la construcción del conocimiento científico, por tanto, no se pueden separar. El Modelo de Toulmin que se utilizó para analizar las justificaciones presentadas por los alumnos al adoptar decisiones durante el uso del laboratorio remoto, es claro y fácil de enseñar y permitió estimular el desarrollo de habilidades cognitivo-lingüísticas dentro del campo conceptual de la metalurgia. Esto significa que es posible desarrollar la capacidad de estudiantes avanzados de ingeniería, de argumentar en el ámbito científico y profesional mediante la aplicación del modelo y evaluar los argumentos presentados, aspectos fundamentales en su formación, puesto que deben aplicar el conocimiento científico para resolver problemas de diversa índole, a través de propuestas que deben ser validadas y correctamente argumentadas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaría de Investigación Internacionales y Posgrado (SIIP) de la Universidad Nacional de Cuyo por haber financiado y aprobado el proyecto 06/L147

REFERENCIAS

- Corter, J. E., Esche, S. K., Chassapis, C., Ma, J., y Nickerson, J. V. (2011). Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education* 57, 2054–2067.
- Dat, N. D., Huang, Y. J. y Chang, M. B. (2020). Characterization of PCN emission and removal from secondary copper metallurgical processes. *Environmental Pollution*, 258, 113759.
- Dong, G., Li, X., Zhao, J., Su, Sh., Misra, R. D. K., Xiao, R. y Shang, Ch. (2020). Machine learning guided methods in building chemical composition-hardenability model for wear-resistant steel. *Materials Today Communications*, 24. DOI: 10.1016/j.mtcomm.2020.101332
- Lindsay E. y Good, M. (2007). A Different Kind of Difference: Theoretical Implications of Using Technology to Overcome Separation in Remote Laboratories. *Int. J. Engng Ed.* 23(4), 772-779.
- Lorandi, A., Hermida, G., Hernández, J., Ladrón de Guevara, E. (2011). Los laboratorios virtuales y laboratorios remotos en la enseñanza de la ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*, 4, 24-30.
- Prada, M. A., Fuertes, J. J., Alonso, S. García, S. y Domínguez, M. (2015). Challenges and solutions in remote laboratories. Application to a remote laboratory of an electro-pneumatic classification cell. *Computers & Education*, 85, 180-190.
- Restivo, M., Mendes, J., Lopes, A., Silva, C. y Chouzal, F. (2009). A remote laboratory in engineering measurement. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(12), 4836-4846.
- Sardá, J., Sanmartí Puig, Neus y Anna. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: Un reto de las clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 405-422.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Vescance, J. y Tamayo, A. (2014). TIC y argumentación: Análisis de tareas propuestas por docentes universitarios. *Estud. pedagóg.* 40(2) <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052014000300>