

## Experiences and proposals for on line teaching of two elective subjects of materials science to engineering students

Arturo Barba-Pingarrón <sup>a\*</sup>, Dayi Gilberto Agredo-Díaz <sup>b\*</sup>, Rafael González-Parra <sup>a</sup>, Alba Covelo-Villar <sup>a</sup>, Miguel Angel Hernández-Gallegos <sup>a</sup> & Raúl Valdez-Navarro <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. [arturo.barba@ingenieria.unam.edu](mailto:arturo.barba@ingenieria.unam.edu), [rafael.parra@yandex.com](mailto:rafael.parra@yandex.com), [acovelov@gmail.com](mailto:acovelov@gmail.com), [raulvaldez@hotmail.com](mailto:raulvaldez@hotmail.com), [mahg@yahoo.com](mailto:mahg@yahoo.com)

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, Bogotá, Colombia. [dgagredod@unal.edu.co](mailto:dgagredod@unal.edu.co)

Received: February 25<sup>th</sup>, 2022. Received in revised form: April 22<sup>th</sup>, 2022. Accepted: May 17<sup>th</sup>, 2022

### Abstract

Teaching, in a pandemic, has been modified and distance processes have taken an important place. This work describes what strategies were generated to achieve learning with appropriate results, under these conditions. Various experiences and a group of proposals are reported for students of the mechanical engineering career, of two elective subjects (Surface Engineering, Selected Topics of Materials), online teaching. The resources used, the forms of evaluation used are described and evidence of the learning achieved is presented. With this, a growing participation of the students and an adequate level of learning were achieved. The purpose of this work is to contribute to the teaching work of teachers in the teaching of Materials, online education, sharing the alternatives described and used in these two subjects, which, to some extent, can be transferred to others and make a reflection about its strengths and limitations

**Keywords:** materials science and engineering teaching; on line teaching; didactic resources; significant learning

## Experiencias y propuestas para la enseñanza a distancia de dos asignaturas optativas, del área de materiales, a estudiantes de ingeniería

### Resumen

La enseñanza, en pandemia, se ha modificado y los procesos a distancia han tomado un lugar importante. Este trabajo describe que estrategias se generaron para conseguir un aprendizaje con resultados apropiados, bajo estas condiciones. Se relatan diversas experiencias y un grupo de propuestas para estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica, de dos asignaturas optativas (Ingeniería de Superficies, Temas Selectos de Materiales), en enseñanza a distancia. Se describen los recursos utilizados, las formas de evaluación empleadas y se presentan evidencias del aprendizaje alcanzado. Con ello, se consiguió una participación creciente de los alumnos y un adecuado nivel de aprendizaje. El propósito de este trabajo es contribuir a la labor docente de profesores en la enseñanza de Materiales, en educación a distancia, compartiendo las alternativas descritas y usadas en estas dos asignaturas, lo cual, en alguna medida, puede trasladarse a otras y realizar una reflexión sobre sus virtudes y limitaciones.

**Palabras clave:** enseñanza de materiales; enseñanza a distancia; recursos didácticos; aprendizaje significativo

### 1. Antecedentes

#### 1.1. Ubicación y entorno de las asignaturas

La enseñanza de la Ingeniería ha enfrentado siempre cambios y retos que han impulsado el uso de nuevos enfoques

y novedosas herramientas para lograr una enseñanza actualizada que sea capaz de producir aprendizajes significativos en los estudiantes y sea acorde a las necesidades y circunstancias de los diversos países. [1-3].

Las circunstancias cambiantes en el entorno nacional e internacional han promovido el empleo de nuevas visiones y

**How to cite:** Barba-Pingarrón, A., Agredo-Díaz, D.G., González-Parra, R., Covelo-Villar, A., Hernández-Gallegos, M.A. and Valdez-Navarro, R., Experiencias y propuestas para la enseñanza a distancia de dos asignaturas optativas, del área de materiales, a estudiantes de ingeniería.. DYNA, 89(222), pp. 115-123, special engineering education July, 2022.

estrategias didácticas, tales como el aprendizaje basado en problemas, el aprendizaje basado en proyectos, el aula invertida y varias otras más que se han sugerido y utilizado ya en diversas instituciones nacionales e internacionales que ofrecen carreras de ingeniería. [4-7].

Una condición que se ha vuelto más relevante cada día es la relativa a la consideración de una ingeniería realizada (y por tanto, enseñada) con una visión sustentable, tal como lo relata un reciente documento de la UNESCO [8].

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, el proceso enseñanza-aprendizaje en el campo de los Materiales y la Manufactura, se ha ido modificando en cuanto al uso de nuevos enfoques y recursos y se convierte en un imperativo el incluir desarrollos en ambos campos, a fin de dar mayores elementos a los futuros ingenieros para afrontar con éxito los retos de la ingeniería en la actualidad.

Los contenidos de los cursos básicos de Materiales, en carreras de Ingeniería (tomando como ejemplo el caso de la Ingeniería Mecánica), abarcan los temas básicos con los cuales los estudiantes deben obtener las bases que les permitan conocer los fundamentos por medio de los cuales es posible explicar las características, propiedades y comportamiento de los Materiales, en forma general.

Asimismo, en los cursos de Manufactura se pretende que los estudiantes se familiaricen con las diferentes tecnologías de procesamiento, a través de las cuales conozcan los métodos más usuales con los cuales es posible generar la geometría, obtener las propiedades (especialmente mecánicas) finales, conseguir las dimensiones requeridas, unir apropiadamente componentes de un sistema y finalmente, dotarlos del acabado que les permita un condición estética y de protección adecuada ante el medio ambiente y las variadas y cada vez más exigentes condiciones de uso (temperatura, medios abrasivos, etc).

En ambos campos se han venido incorporando recursos didácticos cada vez con mayor interactividad, plataformas como You Tube y algunas otras más, a través de las cuales es posible contar con otras novedosas formas de transmitir y reforzar el conocimiento y maneras alternativas de poder realizar el proceso de evaluación.

Un factor adicional que se ha hecho presente y relevante en nuestros días, es la afectación que la pandemia de Covid 19, ha provocado en el proceso educativo, a todos los niveles. [9-11]. Ello ha traído muy diferentes consecuencias en el campo educativo, entre las que resaltan el uso intensivo de formas diversas de educación a distancia, las complicaciones para muchos docentes de modificar y adaptar sus recursos a esas circunstancias, la complicación asociada a la necesidad de contar con equipos y condiciones de la red internet adecuadas en los diferentes lugares, las incertidumbres e inseguridades personales que han acompañado a los diferentes actores del proceso enseñanza-aprendizaje, por mencionar algunas de ellas.

Las asignaturas motivo de este trabajo (Ingeniería de Superficies y Temas Selectos de Materiales y Manufactura), se han originado como propuestas para complementar el aprendizaje, en temas de Materiales y Manufactura, de estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica. Por lo tanto, usualmente se utilizan al final de la carrera y son electivos para los estudiantes. Comúnmente, los grupos están formados por 15 a 20 estudiantes y es requisito para poder tomarlas el que los alumnos ya hayan cursado previamente las asignaturas básicas,

tanto de temas de Materiales como las de Manufactura.

El propósito de la asignatura Ingeniería de Superficies está orientado a que los asistentes adquieran, primero que nada, un conocimiento suficiente de la problemática más habitual a los que pueden enfrentarse los materiales (fundamentalmente desgaste, corrosión y fatiga). En segundo término, que puedan obtener una panorámica de las más representativas tecnologías disponibles para modificar la superficie de un material y todo ello complementado con las más comunes técnicas de caracterización de materiales. [12]

En cuanto a la asignatura Temas Selectos de Materiales y Manufactura, su objetivo primordial es el poder actualizar a los estudiantes en algunos de los temas que se han ido generando en estos campos en fechas relativamente recientes. Esta idea es, por tanto, muy dinámica y prácticamente cada semestre se actualiza y se sustituyen y/o añaden nuevos temas. Al contenido anterior se suma, por un lado, un espacio para un recordatorio general sobre Materiales y Manufactura y otro espacio para las técnicas de caracterización de Materiales, dado que, en términos generales, se ha encontrado que los estudiantes han presentado algunas carencias en ambos temas.[13]

En el entorno actual (asociado a la pandemia por Covid, ya por cerca de dos años), ante los propósitos y prioridades de la enseñanza de la Ingeniería y, en particular, en el ámbito de los materiales, no ha sido posible la impartición de estos cursos de modo presencial, lo que, se insiste, ha representado nuevos retos y la adecuación de la planta docente a esta nueva situación, en la que, el no poder contar con la posibilidad de, por ejemplo, realizar actividades de carácter experimental o de llevar a cabo visitas, ha obligado a ir buscando y adaptando las formas de impartición de los cursos con el afán en mente, de manera prioritaria, de lograr adecuados aprendizajes en los estudiantes.

## *1.2. Experiencias en la asignatura Ingeniería de Superficies*

El contenido de la asignatura Ingeniería de Superficies, se puede dividir en tres partes básicas: una primera asociada a las técnicas de caracterización de superficies frecuentemente empleadas en su campo y que incluye principalmente Microscopía Electrónica, Microscopía de Fuerza Atómica, Difracción de Rayos X, así como Microdureza y Nanoidentación.

En una segunda parte se incluyen las principales formas de deterioro que pueden experimentar los materiales, esto es, Desgaste, corrosión y fatiga.

La siguiente sección está ligada a la descripción de los más comunes métodos de modificación de la superficie, iniciándose con aquellos que son de presencia habitual en la industria desde hace varias décadas (por ejemplo, procesos por inmersión en caliente, recubrimientos electrolíticos y por conversión, tratamientos termoquímicos) aunque, aún en esos casos, el énfasis está asociado a incorporar avances recientes en cada uno de esos campos. Después de la descripción de esta serie de procesos se han incorporado otras tecnologías de aparición más reciente como Tratamientos Térmicos Superficiales, PVD y CVD, Proyección Térmica o Implantación Iónica.

Para la impartición de esos contenidos se han empleado una diversidad de recursos y estrategias a lo largo del curso, que se irán describiendo en las siguientes líneas.

En lo referente a las técnicas de caracterización un recurso muy importante y útil ha sido MyScope [14], un sitio de internet gestado con la participación de una serie de industrias, organismos y universidades australianas. Previamente a su empleo, se imparte una charla general sobre cada una de las técnicas (y sobre la parte teórica que contiene el sitio), acompañada de videos, disponibles en YouTube en los que se hace una descripción breve y general de los equipos y de su manejo (nuestra experiencia es que los videos que mejor han funcionado, salvo raras excepciones, tienen duraciones entre 5 y 15 minutos).

Después de ello, empleando el sitio MyScope con el cual se puede simular de forma aproximada el manejo de equipos tales como un microscopio electrónico de barrido o el microscopio de fuerza atómica, (por mencionar dos ejemplos iniciales), se mostró la forma de generar imágenes de diversas muestras, en dichos equipos. Por ejemplo, en la Fig. 1 se presenta la microestructura de un acero, a la que se puede arribar luego de ir seleccionando la muestra a evaluar y posteriormente las condiciones apropiadas de voltaje, nivel de aumentos y otros parámetros que el sitio permite modificar hasta llegar a una buena calidad de imagen en el microscopio electrónico de barrido.

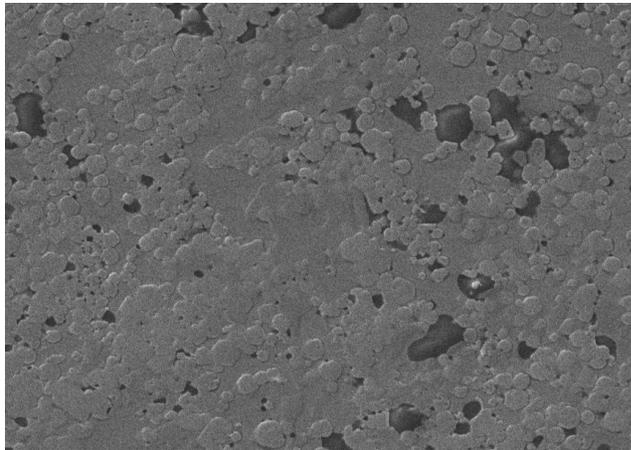


Figura 1. Imagen de microscopia electrónica de barrido de un acero, generada en el sitio de internet MyScope. Fuente: [14]

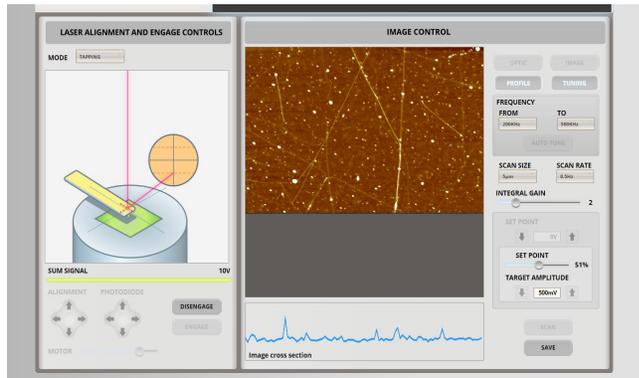


Figura 2. Pantalla, proveniente del sitio MyScope, referente al proceso de simulación del manejo de un microscopio de fuerza atómica en la que se puede distinguir la punta al final del cantilever (que se puede ajustar en la simulación hasta ubicarlo en el sitio correcto) y la imagen que se puede conseguir. Fuente: [14]

En tanto, en la Fig. 2 se puede observar la pantalla en la que se puede distinguir (y se puede ubicar), la punta del microscopio de fuerza atómica, con el objetivo de alcanzar las condiciones más apropiadas para lograr una imagen de apropiada calidad en ese tipo de microscopio

Después de la realización del manejo de estas simulaciones en el salón de clases virtual, se han asignado tareas, trabajos y proyectos de forma individual usando este mismo sitio y se han usado diversas estrategias para intentar reforzar estos temas. Por ejemplo, se han realizado ejercicios en el aula virtual (con imágenes de ambas técnicas), para que los estudiantes participen e indiquen e intenten interpretar imágenes típicas e información adicional que pueden aportar los resultados de los diferentes tipos de microscopio. Asimismo, se han dado tareas adicionales como la realización de síntesis de conferencias disponibles en internet [15] en forma de Seminarios (Fig. 3) o bien, que respondan a cuestionarios o crucigramas, elaborados ex proceso para los temas. Un ejemplo de ello se puede observar en la Fig. 4.

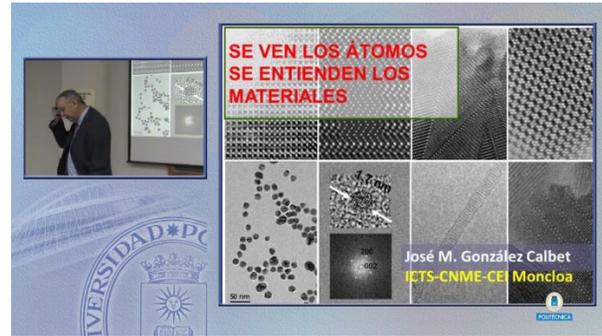


Figura 3. Imagen de una conferencia sobre técnicas de caracterización disponible en YouTube, empleado como complemento de los temas referidos. Fuente: [15].

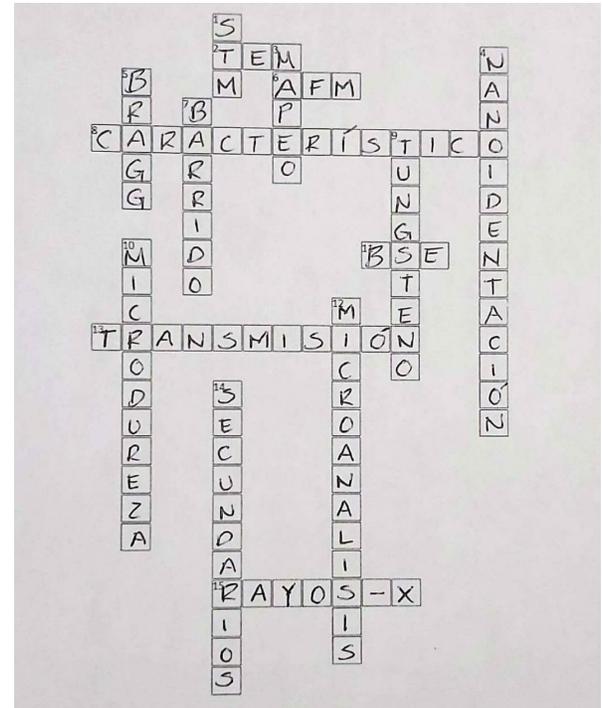
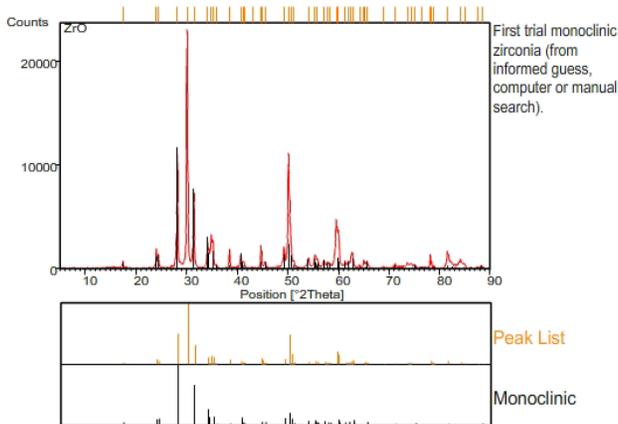


Figura 4. Crucigrama elaborado por los estudiantes como una de las estrategias de aprendizaje del tema de caracterización de materiales. Fuente: Elaboración propia

Al lado de lo anterior, se ha empleado una estrategia adicional para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, otro sitio de internet (DoItPOMS) [16], de origen británico, donde se cuenta con recursos interactivos que se han utilizado para fortalecer temas como Difracción de Rayos X, Microscopía Electrónica de Transmisión, Microscopía de Fuerza Atómica y algunos otros más contenidos en los cursos (por ejemplo Manufactura Aditiva, Dislocaciones, Materiales con Memoria de Forma, por mencionar algunos). El contenido, en forma general, de estos (poco mas de 70 temas, algunos videos, del orden de 900 micrografías y unas pocas demostraciones de carácter práctico) comprende una serie de aspectos teóricos, varias animaciones, demostraciones, síntesis y cuestionarios al final de cada tema, lo que permite ayudar a ampliar y consolidar conceptos y ejercitar a los estudiantes en diversos temas de las asignaturas. La Fig. 5 muestra un ejemplo de una de las imágenes que se emplean para la explicación de la interpretación de los resultados provenientes del estudio mediante Difracción de Rayos X.



1  
Figura 5. Difractograma, disponible en el sitio DoItPOMS para la enseñanza de la Difracción de Rayos X.  
Fuente: [16]

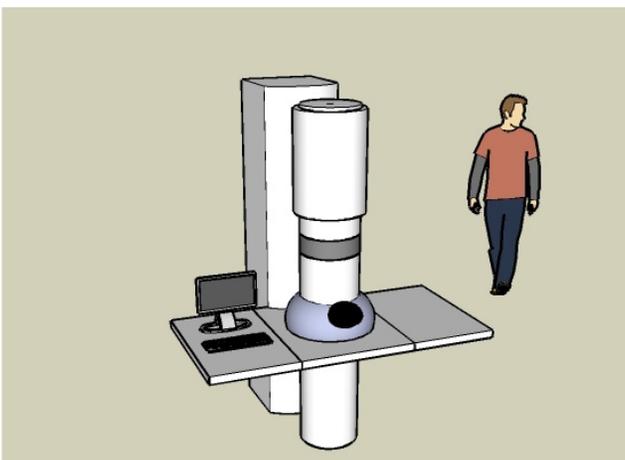


Figura 6.- Esquema interactivo que representa la estructura de un TEM, disponible en el sitio DoItPOMS.  
Fuente: [16]

Por su parte, la Fig. 6 presenta un esquema de un microscopio electrónico de transmisión que forma parte de los recursos disponibles en DoItPOMS [16], para reforzar la enseñanza del tema respectivo.

Es conveniente señalar, que el objetivo de la enseñanza de este grupo de técnicas de caracterización en estas asignaturas optativas (electivas), de estudiantes de licenciatura (pregrado) de últimos semestres, es el de conseguir que los estudiantes se familiaricen con este tipo de equipos, que obtengan una visión primaria de su manejo y que puedan, sobre todo, tener una idea inicial de la interpretación de sus gráficas e imágenes con lo que puedan ser capaces de conocer la información básica que puede obtenerse de cada uno de ellos. No es el propósito de esta sección del curso, el ir al fondo a los aspectos teóricos que sustentan el funcionamiento de cada uno de los equipos ni a los detalles de los métodos de carácter matemático por medio de los cuales se obtienen los resultados de difractogramas de Rayos X, patrones de difracción de electrones y algunos otros posibles resultados, por mencionar varios ejemplos. Usualmente, los alumnos que han cursado estas asignaturas y que se han interesado en profundizar en esos temas, lo han hecho cuando se han integrado, posteriormente, a algún programa de posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales.

A continuación, en el curso se abordan los aspectos relacionados con las diferentes formas de deterioro al que pueden enfrentarse los diferentes materiales, básicamente corrosión, desgaste y fatiga.

En lo relativo al tema de corrosión, se han empleado presentaciones en Power Point, a lo que se suma la utilización de videos que muestran diversos tipos de corrosión y que presentan también el uso de diversas estrategias recomendadas para atenuar los procesos corrosivos. Adicional a lo anterior, se asigna a los estudiantes el estudio y presentación, por equipos de 2 a 4 personas, según el número de alumnos en el grupo, de casos de accidentes provocados por corrosión en diferentes tipos de infraestructura, tomando como base la referencia [17]. Esto ha llevado a lograr ampliar la participación y discusión con el resto del grupo.

La Fig. 7 presenta un ejemplo de una diapositiva, de las que utilizó un equipo de estudiantes para presentar el caso de corrosión-fatiga de una aeronave y que se ha empleado para discutir, por parte del resto del grupo el caso y como mecanismo de reforzamiento del tema de corrosión

El deterioro se debió a un problema de corrosión-fatiga, iniciado por un agrietamiento en las pieles de la aeronave, este avión trabajaba en vuelos cortos y estaba siempre sometido a la presurización constante, así que los remaches de los paneles del fuselaje se fueron agrietando poco a poco hasta provocar el accidente.

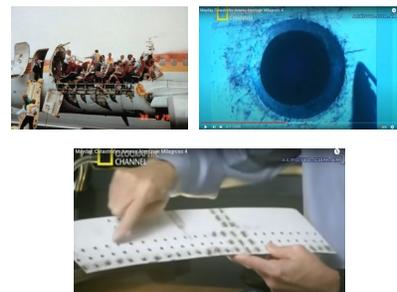


Figura 7. Ejemplo de diapositiva usada por estudiantes de la asignatura para presentar un caso de falla por corrosión.  
Fuente: Elaboración propia

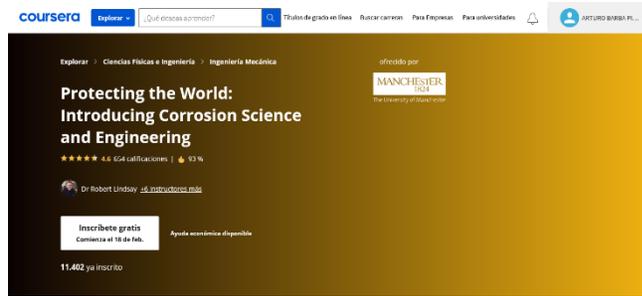


Figura 8. Portada del curso asociado a temas de protección contra la corrosión, disponible en la Plataforma Coursera.  
Fuente: [18]

Una herramienta recientemente incorporada, ha sido el solicitar a los estudiantes el que tomen un curso, disponible en la plataforma Coursera [17], sobre Protección contra la Corrosión. Esto ha permitido que repasen y refuercen el tema, mejoren su manejo del idioma inglés, que forme parte del proceso de evaluación y que tengan la posibilidad de obtener un certificado para incorporarlo a su curriculum. Ello conlleva el dedicar algunas horas o semanas (en diversos cursos disponibles) y en ocasiones algún costo y, por fortuna, se han encontrado mecanismos para que, pese a ello, los estudiantes puedan seguir el curso. La Fig. 8 corresponde a la portada del curso mencionado líneas arriba.

Es conveniente resaltar que la disponibilidad de este tipo de opciones para tomar cursos que puedan ser de interés para las asignaturas, presenta algún nivel de incertidumbre, en función de que cualquiera de las diferentes plataformas, pueden retirar o adicionar otros temas y otros cursos a sus contenidos. Eso constituye un riesgo, ciertamente, para cada una de estas (u otras) asignaturas. Sin embargo, alguna reflexión al respecto es que conviene correr ese riesgo en función de los mayores beneficios que ese tipo de cursos puede representar para el proceso de aprendizaje y los que los propios estudiantes puedan alcanzar (por ejemplo, un certificado). En todo caso, es recomendable en cada ocasión que se lleve a cabo la planeación de un nuevo periodo (semestre, comúnmente) para la impartición de las asignaturas, se pueda prever de qué manera, de ser necesario, se pueda sustituir el curso que ya no estuviera disponible en la plataforma, sea ello con otra actividad, buscando inicialmente un curso semejante en otra plataforma u optando por el empleo de un webinar u otra clase de actividad que pueda colaborar a reforzar los contenidos planteados en la programación docente que lleve a cabo cada profesor.

Estrategias semejantes se han seguido para otros temas de ambas asignaturas. Por mencionar algunos se pueden enlistar, en el ámbito de las técnicas de caracterización: Microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión, microscopía de fuerza atómica, Microdureza y Nanoidentación, a lo que se ha sumado algunos Webinars específicos ligados a dichos temas

Otros temas, ligados al deterioro de materiales, tales como Desgaste o Fatiga se han complementado (además de presentaciones de Power Point y diferentes videos), bien con Webinars, con Conferencias o Seminarios disponibles en YouTube o programados por otras entidades, por ejemplo, la



Figura 9. Portada de un Webinar sobre Conformado Superplástico dictado por la Dra. Ares Gómez, de una universidad escocesa, organizado por la SOMIM.  
Fuente: [19]

Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM) [19], amén de la presentación de casos en equipo y tareas que incluyen Mapas Mentales, Tablas a construir, crucigramas. En la Fig. 9 se presenta una muestra de la promoción de un Webinar SOMIM, sobre Conformado Superplástico, empleado en los cursos.

### 1.3. Experiencias en la asignatura Temas Selectos de Manufactura y Materiales

Un recurso más que se ha venido utilizando, (en mayor proporción en la asignatura Temas Selectos), es el sitio [www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org), [20] en el cual se pueden encontrar diferentes cursos ligados a la fabricación del acero y a grupos de diversos aceros y sus aplicaciones. Algunos de ellos son gratuitos, en inglés, español e incluso en varios idiomas. Varios de los nombres de cursos que se han empleado son: Introducción al Acero, Transformaciones de Fases, Aceros Microaleados, Aceros de Ultra Alta Resistencia, Recristalización, Mecanismos de Endurecimiento, Procesos de Endurecimiento Superficial, Manufactura Aditiva de aceros, etc. La Fig. 9 corresponde a la portada de uno de estos cursos. En varios de ellos es posible, adicionalmente para el estudiante el que, como se ha mencionado previamente, forme parte del proceso de evaluación y que pueda, asimismo, lograr un certificado y ha sido un hecho el que su uso ha colaborado, de manera relevante, a reforzar el aprendizaje de los alumnos. La Fig. 10 muestra, como ejemplo, la portada del curso Manufactura Aditiva de acero, (sin costo), disponible en este mismo sitio, y que también se emplea en esta asignatura.



Figura 10. Portada de uno de los cursos disponible en [www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org) empleado en la asignatura Temas Selectos.  
Fuente: [20]



Figura 11. Muestra de un certificado, de los que otorga la plataforma Steel University, como producto de haber acreditado un curso de los que ofrece dicha plataforma. Fuente: [20]



Figura 12. Portada del curso Ferrous Technology ofrecido por la plataforma Coursera. Fuente: [18].

Una muestra de los certificados, de los que es posible obtener para los estudiantes, se presenta en la Fig. 11. No en todos los cursos se ofrece la opción para obtenerlo, pero en un buen número de ellos, es posible.

En esta asignatura se ha utilizado también, como complemento, un curso sobre Tecnología Ferrosa, disponible en la plataforma Coursera, que se recomienda cursar en 7 semanas. En ese caso, se ha empleado como recordatorio de diversos temas ligados al sistema Fe-C, necesarios para los temas que se sobre nuevos aceros se tocan en el curso, y como una de las formas de evaluación, lo cual ha permitido que los estudiantes se motiven y lleven a cabo el curso con un mejor soporte previo. (Ver Fig. 12).

Un factor adicional a destacar, que ha colaborado de modo especial a enriquecer estos cursos, ha sido el que han coincidido en diferentes semestres, Simposios o Congresos (por ejemplo, los Simposios de la Red de Ingeniería de Superficies y Tribología REDISYT o los Congresos Anuales de la SOMIM), a los que se ha permitido el acceso a los estudiantes (a veces de forma gratuita y en otras, a costos reducidos), en lo que incluso han participado escuchando las ponencias y Conferencias Magistrales y realizando preguntas a diversos ponentes y, en opinión de los propios alumnos, han calificado esta actividad como algo muy valioso, útil y atractivo para su formación. Ver Fig. 13.



Figura 13. Muestra de convocatoria para un Simposio sobre temas de Ingeniería de Superficies, de acceso libre, al que han accedido estudiantes de la asignatura respectiva.

Fuente: [21]

En cuanto al proceso de evaluación, se han incorporado, entre otras formas, el uso de exámenes parciales (algunos tipo Kahoot, la acreditación de cursos (de plataformas como SteelUniversity, o Coursera), tareas, presentación de casos, participación en clase, evidencias de visita a sitios interactivos de temas ligados a las asignaturas (MyScope, DoItPoms, etc), síntesis y participación con preguntas y opiniones sobre webinars y conferencias, fundamentalmente.

## 2. Discusión y comentarios

Las condiciones actuales han determinado nuevas necesidades en el proceso enseñanza aprendizaje y de ello han derivado, retos y posibilidades ante los cuales, la planta docente ha venido realizando adaptaciones y esfuerzos constantes con el propósito de conseguir un adecuado aprendizaje de los estudiantes.

Una primera reflexión es la alusiva a la necesidad de que, en estos modelos para la enseñanza, que apuntan a ser híbridos de manera permanente, el docente pueda contar con una adecuada conexión de internet, que asegure tanto la buena calidad de acceso a los sitios como otros aspectos operativos como el sonido y demás. A partir de este planteamiento, deberán buscarse mecanismos de apoyo de organismos y entidades educativas para que sea posible asegurar la calidad suficiente de conexión para los profesores que adopten esta modalidad.

Cabe también la mención de, ante estas circunstancias, las formas de comunicación con los estudiantes están modificándose y, atendiendo aspectos éticos y funcionales, dictados por las normas de cada institución educativa, seguramente se hará uso creciente de diversas modalidades provenientes de las redes sociales.

En cuanto a los recursos que se han experimentado y que se describen en este trabajo, en primera instancia, el uso del sitio MyScope ha constituido, en términos generales, una experiencia muy positiva. Los estudiantes (previa explicación general del funcionamiento de los diversos equipos de caracterización), han manifestado un interés creciente y la posibilidad de "manejar" equipos ha constituido, según sus propias expresiones, una oportunidad de acercamiento atractiva, para la comprensión del empleo y potencial de estos equipos. Cuando las condiciones lo han permitido, a este tipo de opciones se suma la posibilidad de realizar visitas y conocer operando esta clase de equipamientos reales, lo que ha producido aun mejores resultados en el aprendizaje de los estudiantes. Este punto constituye un punto por resolver en lo relativo a la educación a distancia en estos temas, porque hay retos logísticos que lograr en este sentido.

El empleo de sitios en los cuales es posible que los alumnos tomen cursos extraclase, se convierte en una actividad alternativa y complementaria de gran valor. Los cursos, fundamentalmente disponibles en diferentes plataformas (previa observación, valoración y adecuada selección por parte del profesor), presentan características pedagógicas apropiadas, justamente para una enseñanza a distancia, y el esfuerzo que los estudiantes realizan al cursarlos, se encuentra correctamente dosificado y, al menos en la experiencia de estas dos asignaturas, ha sido recibida con actitud favorable y los comentarios emitidos han sido positivos. Cuando, adicionalmente, dichos cursos se han empleado como parte de las formas de evaluación, esto se ha constituido en un mecanismo favorable para alcanzar mejores resultados en el proceso de aprendizaje.

En relación con ello, se ha mencionado previamente y conviene hacerlo de nuevo, la necesidad de tener flexibilidad al respecto, dado que estos cursos pueden ser retirados unos y añadidos otros a las propias plataformas y en ese sentido, se necesitará tener en mente actividades alternativas de refuerzo y, en su caso, otras posibles herramientas de evaluación para incorporar nuevos recursos que solventen dichas situaciones.

Otro factor que, en nuestra experiencia, ha contribuido al proceso de enseñanza-aprendizaje, es la participación en vivo de los estudiantes, en algunos eventos a distancia. En el caso de Webinars, apropiadamente seleccionados, (para la selección, cada semestre, será necesario estar atento a las actividades que organizan y desarrollan diferentes instituciones, sociedades y otras entidades), acorde a los temas de las asignaturas o cercanos a ella, hemos podido percibir que, en función de tratarse de estudiantes de últimos semestres, se convierte en un mecanismo que les ha permitido lograr diversos objetivos. Entre ellos, podemos mencionar: ejercitarse en el uso de idiomas, poder participar (contando con los conocimientos adquiridos durante la asignatura), planteando preguntas a los ponentes. Por supuesto, en la misma línea, la participación en Congresos y Simposios ha contribuido de forma muy destacada a incrementar el aprendizaje y ha logrado, asimismo, estimular a los estudiantes. Un posible objetivo a futuro es que los estudiantes puedan participar en alguno de esos Congresos o Simposios, presentando algún trabajo, en tanto se trate de actividades realizadas en formato virtual.

El desarrollo y la búsqueda de mejorar el proceso de evaluación ha ido mostrando la necesidad de evolución y la conveniencia de una valoración continua y variada en sus instrumentos. Con el tiempo se han venido incluyendo, por ejemplo, los certificados logrados en los cursos, la presentación de casos de falla de los componentes (en equipos de 2 a 4 estudiantes), la entrega de tareas provenientes de sitios interactivos, la lectura, escucha, participación, síntesis y opinión sobre conferencias, webinars, artículos selectos, la aplicación de exámenes bajo condiciones acotadas de tiempo, la realización de pequeños proyectos y la participación en clase, por mencionar los más sobresalientes. Ello ha permitido que los estudiantes diversifiquen sus visiones, pongan en juego diferentes habilidades (hablar en público, mejorar su manejo del idioma inglés, generar propuestas de solución a diversos casos, la acreditación de cursos a distancia, la ejecución de acciones de investigación) y puedan ser evaluados con una mayor riqueza de recursos y con mayor participación de los estudiantes.

La evaluación es un aspecto que siempre resulta mejorable y controvertible. ¿Qué porcentaje asignar, con inobjetable justicia, a los diversos recursos y tareas solicitadas a los estudiantes?, ¿qué riesgos se asumen al aplicar exámenes "a distancia" y como disminuirlos? ¿Cómo considerar, ante estas situaciones, la respuesta ética de los estudiantes de últimos semestres para responder a las actividades realizadas a distancia?, solo por mencionar algunas reflexiones que cada profesor deberá hacerse y resolver, en función de las características del grupo, sus propios recursos y condiciones y que deberá considerar en su planeación.

En nuestro caso, el avance logrado por los estudiantes se ha valorado, en buena medida, considerando algunas premisas. En el caso de los cursos extraclase - disponibles en diferentes plataformas -, (previamente revisados y analizados por los profesores), se ha asumido que son una herramienta pedagógica adecuadamente preparada y se considera, por tanto, que quienes logran acreditar dichos cursos, han logrado un avance en su nivel de aprendizaje y se le ha asignado un porcentaje relevante en el proceso de evaluación de los trabajos parciales.

Por otro lado, los exámenes con tiempos limitados de respuesta aplicados a los estudiantes (en promedio 4 al semestre) son una segunda vía, a través de la cual, consideramos, se han obtenido evidencias valiosas de aprendizaje de los estudiantes.

Otros elementos a los que se les ha asignado un menor porcentaje en los criterios de evaluación, pero que forman parte de ella, han sido la presentación y revisión de casos en equipos de 2 a 4 estudiantes y ante el grupo, la generación de mapas mentales, la elaboración de crucigramas de temas específicos, incluso varios de ellos realizados en el tiempo de la clase.

En ese mismo tenor que lo previamente mencionado, se ha dado un porcentaje también, a la participación con preguntas en los Webinars en vivo o en los Congresos o Simposios ligados a temas de los cursos, y se ha considerado como una forma de valorar los aprendizajes de los estudiantes.

Finalmente, aunque forman parte de las actividades, se ha dado menor peso aún a las tareas (deberes) asignadas, al considerarse que resulta aún más complejo lograr un adecuado control de la información y comunicación que los estudiantes pueden tener entre sí.

En relación con limitantes que consideramos tienen estos cursos a distancia, en asignaturas como las aquí indicadas, es la complicación para realizar actividades experimentales tanto para su uso en la clase o como parte de proyectos de tipo semestral, así como para poder llevar a cabo visitas a otras entidades educativas o a industrias (aunque algunas se pueden efectuar de modo virtual en videos disponibles en la red), lo que, por supuesto, podrían enriquecer sustancialmente los recursos para mejorar el aprendizaje de los estudiantes, al lado de la disminución de la relación e interacción entre los propios estudiantes y de éstos con el profesor, lo que resulta más sencillo y natural, en el aula física.

Algunos aspectos en los que se puede plantear la necesidad de mejora son: el buscar formas adicionales para ser consideradas en el proceso de evaluación, por ejemplo, el utilizar algunos pequeños experimentos en casa (este semestre se ha tenido una primera experiencia en la

asignatura Ingeniería de Superficies, con resultados positivos) y el solicitar a los estudiantes algunos experimentos virtuales que puedan complementar su formación (de hecho, en algunos de los sitios empleados hubo experiencias pequeñas al respecto). [22-27].

Conviene, asimismo, resaltar la conveniencia de ir avanzando en realizar esfuerzos adicionales, dirigidos a agregar contribuciones a la mejora en la enseñanza de los temas ligados al proceso enseñanza-aprendizaje de temas de Manufactura, como se propone en algunos trabajos [28-32], y, de manera paralela a ello, el incorporar la revisión continua de las posibles afectaciones ambientales que pueden producir la elaboración y el procesamiento de materiales y derivar de ello, reflexiones y propuestas, realizadas por el conjunto de estudiantes y profesores, dirigidas a disminuir los daños al medio ambiente y que, a través de estas asignaturas, los estudiantes puedan adquirir o reforzar una mayor conciencia ambiental y fortalecer su respuesta ética, de imperiosa necesidad en estos momentos.

### 3. Conclusiones

1. La enseñanza de asignaturas optativas a distancia conlleva la necesidad de adaptar y adoptar recursos y estrategias diversas y particulares que consideren, según nuestra experiencia al momento, una amplia presencia de recursos interactivos, adecuadamente seleccionados, en función de la asignatura y las condiciones del grupo, a través de los cuales sea posible conseguir la mayor participación posible de los alumnos.
2. Resulta importante, asimismo, trabajar con una serie de retos que promuevan en los estudiantes el desarrollo de habilidades tales como el uso de otros idiomas, el hablar y desenvolverse en público, el manejo de recursos bibliográficos, el planteamiento de casos y sus posibles soluciones, su compromiso ético y con el medio ambiente, entre otros.
3. La incorporación al proceso de enseñanza y al de evaluación, de cursos a distancia ligados a temas de la asignatura, disponibles en diversas plataformas, se ha constituido en una experiencia muy favorable, al posibilitar a los estudiantes el conocer otras visiones de los mismos temas y complementar los conocimientos revisados en el desarrollo del propio curso
4. La posibilidad de que los alumnos, durante el desarrollo de la asignatura, pudiesen participar, en vivo, en diferentes eventos (especialmente en el caso de quienes cursan los últimos semestres), tales como Webinars, Simposios ó Congresos, ha constituido una muy valiosa oportunidad para ir incorporando, entrenando y capacitando a los estudiantes para futuras participaciones, en lo que muy probablemente pueda formar parte de sus actividades profesionales, además de constituirse en una forma de evaluación adicional.
5. El proceso de evaluación significa todo un reto en estas condiciones de educación a distancia y es nuestro sentir, el que, por un lado, mientras más continuos y variados sean los mecanismos y herramientas para evaluar, mayor será la probabilidad de conseguir resultados más confiables y, por otro lado, en tanto, en función de nuestra experiencia, se empleen herramientas como

cursos adicionales, disponibles en plataformas, exámenes bajo condiciones acotadas, participaciones en Webinars o Simposios, se podrá contar con mecanismos de un adecuado nivel de confianza para el proceso de evaluación, que seguirá siendo flexible y en evolución, con el propósito de irlo siempre adecuando a las particularidades del grupo, los temas a desarrollar y las condiciones reinantes.

6. La pandemia, al lado de una serie indeseable de afectaciones a la vida cotidiana y la integridad de las personas y las familias y en particular, en el tema abordado en este trabajo, al proceso enseñanza - aprendizaje de los estudiantes, ha abierto, sin embargo, al mismo tiempo, nuevos frentes, novedosas herramientas y nuevas opciones que, en el futuro, se perciben como el inicio de un proceso educativo híbrido que puede (y debe) irse retroalimentando y enriqueciendo para convertirse en una herramienta y un recurso cada vez más poderoso, como vehículo para la mejora del aprendizaje de los futuros ingenieros, acorde, asimismo, con las condiciones sociales requeridas en el profesional en estos momentos y la visión de sustentabilidad que deberá predominar en los tiempos por venir.

### Agradecimientos

Los autores de este trabajo del CENISA desean expresar su agradecimiento a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, a través del Proyecto PAPIIT IT100221 "Desarrollo de Tecnologías Alternativas de Modificación de Superficies para la Mejora de Materiales de Potencial Industrial".

### Referencias

- [1] Gil R. La ingeniería en el 3er milenio: una reseña de los nuevos paradigmas. Buenos Aires, Argentina: ANI – Academia Nacional de Ingeniería; 442 p, 2010.
- [2] Academia de Ingeniería México, A.C. Estado del Arte y Prospectiva de la Ingeniería en México y el Mundo, 2014, <http://www.ai.org.mx/ai/index.php/79-arriba/487-estado-del-arte-de-la-ingenieria>.
- [3] Rugaría A., Felder R., Woods D., Stice J. El Futuro de la Educación en Ingeniería. Universidad Iberoamericana, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Universidad Autónoma de Tlaxcala, 2001.
- [4] Academia de Ingeniería México. Memoria del Coloquio sobre Formación de Ingenieros en México. 2017.
- [5] Carriazo J., Saavedra M., Molina M. ¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la Ciencia de Materiales?.. Educación Química, **28**, 107-115, 2017.
- [6] Cabedo L., Gámez-Pérez J., Segarra M., López-Crespo P., Izquierdo R., Royo M., Moliner L., Guraya T. La Metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) Aplicada a Asignaturas de Ciencia de los Materiales en Ingeniería en la Red IdM@ti. Material- ES **1 (2)**; 25-28, 2017.
- [7] Pfennig A.. Inverting the Classroom in an Introductory Material Science Course. Procedia - Social and Behavioral Sciences **228**, 32 – 38. 2nd International Conference on Higher Education Advances, HEAd'16, 21-23, 2016.
- [8] UNESCO. Engineering for Sustainable Development, 2021.
- [9] Babincakova M., Bernard P. Online Experimentation during COVID-19 Secondary School Closures: Teaching Methods and Student Perceptions. J. Chem. Educ., **97**, 3295–3300, 2020.

- [10] Kuhfeld M., Soland J. Tarasawa B., Johnson A., Ruzek E., Liu J.. Projecting the Potential Impact of COVID-19 School Closures on Academic Achievement. *Educational Researcher*, **49**, 8, pp. 549 –565, 2020, DOI: 10.3102/0013189X20965918.
- [11] M. Román, J. A. La educación superior en tiempos de pandemia: una visión desde dentro del proceso formativo. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)* [en línea]. 2020, L (-), 13-40 [Fecha de Consulta 19 de Febrero de 2022]. ISSN: 0185-1284. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=27063237017>
- [12] UNAM, Planes y Programas de Estudio, [En línea], [Fecha de consulta Mayo 16, 2022], 2009, Disponible en: <http://132.248.54.13/pype/temariosPDF/115/IngenieriaDeSuperficies.pdf>.
- [13] UNAM, Temas Selectos 2021-2, [En línea]., 2016. [Fecha de consulta Mayo 16, 2022]. Disponible en: <https://www.ingenieria.unam.mx/dimeci/TS20212.php>.
- [14] MYSCOPE, SPM Simulator. [En línea], [Fecha de consulta Mayo 16, 2022]. Disponible en: [https://myscope.training/SPM\\_simulator.html](https://myscope.training/SPM_simulator.html).
- [15] UPM, SFCM 12/13 6: SE VEN LOS ÁTOMOS SE ENTIENDEN LOS MATERIALES. [En línea]., 2012. [Fecha de consulta: Mayo 16, 2022] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9fjDjgiNxNg&t=168s>.
- [16] University of Cambridge, Dissemination of IT for the Promotion of Materials Science-Phase identification. [En línea], 2004. [Fecha de acceso: Mayo 16, 2022]. Disponible en: [https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/xray-diffraction/phase\\_identification.php](https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/xray-diffraction/phase_identification.php).
- [17] Vázquez, Marcela. La corrosión: el peor de los villanos cuando dominan los metales / - 1a ed. - Mar del Plata: EUDEM, 2018. ISBN 978-987-4440-21-1.
- [18] Coursera, Protecting the World: Introducing Corrosion Science and Engineering. [En línea], 2020. [Fecha de acceso: Mayo 16, 2022]. Disponible en: <https://es.coursera.org/learn/corrosion>.
- [19] SOMIM, SOMIM Webinar Series. Julio. [En línea], 2022. [Fecha de acceso: Mayo 16, 2022]. Disponible en: <http://somim.org.mx/somim-webinar-series-julio/>.
- [20] Steel University, MAN0110 – 3D Printing – Additive manufacturing with steel - steeluniversity. [En línea], 2022. [Fecha de acceso: Mayo 16, 2022] Disponible en: <https://steeluniversity.org/courses/man0110-3d-printing-additive-manufacturing-with-steel/>.
- [21] Redisynt, VIIº Simposio Anual de la Red. [En línea], 2022. [Fecha de acceso: Mayo 16, 2022]. Disponible en: <https://redisynt.org/portal/index.php/simposio>.
- [22] Carriazo J., Molina, M. F. Using X-ray diffraction to investigate the crystal structure of materials contained in toothpastes: An inquiry-based lab activity. *Journal of Materials Education*, **36**, 161-168, 2014.
- [23] Khraishi T., Al-Haik.M. Experiments in Materials Science and Engineering. Cognella, 2011. ISBN: 978-1-60927-868-7.
- [24] González B. cMLAB, Laboratorio Virtual para Ciencia e Ingeniería de Materiales. Memoria del Proyecto de Innovación Docente. Escuela Politécnica Superior de Zamora, España, 2011.
- [25] Dobrzanski L., Jagiello A., Honys R. Virtual tensile test machine as an example of Materials Science Virtual Laboratory. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* **27**, 207 – 210, 2008.
- [26] Dobrzanski L., Honysz R. The idea of Materials Science Virtual Laboratory. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing* **42**, 196-203, 2010.
- [27] Pacific Northwest National Laboratory. Materials Science and Technology Teachers Handbook. Science Education Programs. 353 p. USA, 1994. Disponible en: <https://www.asminternational.org/documents/10192/1739818/PNNL-17764.pdf>
- [28] Orjuela-Méndez J., Arroyo-Osorio J., Rodríguez-Baracaldo R.. Actualidad y perspectivas en la enseñanza del área de manufactura a estudiantes de ingeniería. *Ingeniería Mecánica*. **16**. No. 1, 59-71, 2013.
- [29] olstadás A. Global education in manufacturing. En: *Advanced Manufacturing - An ICT and Systems Perspective*. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 319 p. p. 229-239, 2007, ISBN 978-0-415-42912-2.
- [30] O’Sullivan D. Rolstadás A., Filos E., Global education in manufacturing strategy. *Journal of Intelligent Manufacturing*. **22**, 5, 663-674. ISSN 0956-5515, 2011, DOI: 10.1007/s10845-009-0326-2.
- [31] Waldorf D. Bjrman R., Plotting a Bright Future for Manufacturing Education: Results of a Brainstorming Session. En: *Proceedings of the 2006 ASEE Conference "Advancing Scholarship in Engineering Education"*, 2006, DOI: 10.1.1.123.8254.
- [32] Jou M., Zhang H., Lin C., Development of an interactive e-learning system to improve manufacturing technology education. En: *ICALT 2005 Fifth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*. Washington, 359-360, 2011, DOI: 10.1109/ICALT.2005.121.

**A. Barba-Pingarrón**, es profesor titular del Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, Facultad de Ingeniería, UNAM, México. Coordinador del Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados (CENISA). Ha encabezado una amplia variedad de proyectos ligados al desarrollo de diversas tecnologías de superficie y participado en un amplio número de Congresos relacionados con el área y ha publicado en medios nacionales e internacionales cerca de 200 trabajos sobre el área y la enseñanza de temas de Materiales y Manufactura.  
ORCID: 0000 0001 7285 9429

**D.G. Agredo-Díaz**, es Ing. Mecánico de la Universidad Nacional de Colombia, MSc. en Materiales y Procesos de Manufactura (en proceso) de la UNAL, Investigador y Profesor de asignatura del Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia - sede Bogotá. Gran parte de sus proyectos han sido enfocados a la transformación de materiales por tratamiento térmico, protección superficial contra la corrosión y al desarrollo de materiales nanoestructurados.  
ORCID: 0000 0003 2830 3022

**J.R. González-Parra**, es Ing. Mecánico por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, MSc en Ciencia e Ingeniería de Materiales UNAM. Dr. en Ciencia de Materiales de la UNAM. Profesor de asignatura. Se ha especializado en la búsqueda de alternativas para la enseñanza de materiales en el laboratorio y en el desarrollo de técnicas electroquímicas para la caracterización de tratamientos superficiales aplicados a diversas aleaciones y en estudios de Arqueometalurgia, reflejado todo ello en su participación amplia en Congresos y en publicaciones.  
ORCID: 0000 0002 6337 2931

**A. Covelo-Villar**, es Dr. por la Universidad de Vigo, España. Actualmente es profesora titular de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Ha desarrollado equipamiento y ha generado nuevas prácticas para los laboratorios de materiales. Sus áreas de investigación están relacionadas con recubrimientos Sol Gel, procesos de electrohilado de polímeros y al de otras técnicas para generar revestimientos orgánicos. Su productividad está reflejada en su participación en Congresos nacionales e internacionales y en publicaciones en revistas arbitradas.  
ORCID: 0000 0003 3053 9624

**M.Á. Hernández-Gallegos**, es Dr. por la UNAM. Profesor titular del Departamento de Ingeniería de Diseño y Manufactura, Facultad de Ingeniería, UNAM, secretario del CENISA. Ha participado en una amplia variedad de proyectos ligados al desarrollo de diversas tecnologías de superficie y participado en un amplio número de Congresos relacionados con el área y publicado en medios nacionales e internacionales. Sus áreas de investigación están relacionadas con recubrimientos Sol Gel, las técnicas de electrohilado de polímeros y al de otras técnicas para generar revestimientos orgánicos.  
ORCID: 0000 0003 3153 8359

**R.Valdez-Navarro**, es Ing. Mecánico por la Facultad de Ingeniería de la UNAM, MSc. en Ciencia e Ingeniería de Materiales UNAM. Profesor asociado. Se ha especializado en la búsqueda de alternativas para la enseñanza de materiales en el laboratorio y en el desarrollo de técnicas de proyección térmica para revestir materiales.  
ORCID: 0000 0002 3217 9266.