

## Competencias analógicas en un mundo digital. Nomogramas en el proceso de aprendizaje de la ingeniería

### *Analogical skills in a digital world. Nomograms in the engineering learning process*

Víctor Yepes<sup>a</sup>, Pedro Martínez-Pagán<sup>b</sup>, Trevor Blight<sup>c</sup>, Daniel J. Boulet<sup>d</sup> y Leif Roschier<sup>e</sup>

<sup>a</sup>ICITECH. Universitat Politècnica de València, España, [vypepesp@cst.upv.es](mailto:vypepesp@cst.upv.es) , <sup>b</sup>Universidad Politécnica de Cartagena, España, [p.martinez@upct.es](mailto:p.martinez@upct.es) , <sup>c</sup>University of Adelaide, Reino Unido, [trevor.blight@gmail.com](mailto:trevor.blight@gmail.com) , <sup>d</sup>Carleton University, Canadá, [djboulet@outlook.com](mailto:djboulet@outlook.com)  y <sup>e</sup>Vantaa, Finlandia, [leif.roschier@saunalahti.fi](mailto:leif.roschier@saunalahti.fi) .

**How to cite:** Yepes, V., Martínez-Pagán, P., Blight, T., Boulet, D.J. y Roschier, L. 2023. Competencias analógicas en un mundo digital. El uso de los nomogramas en el proceso de aprendizaje de la ingeniería. En libro de actas: *IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16515>

---

### **Abstract**

*Nomograms are an ancient and efficient mathematical tool for solving complex problems. It is a graphical representation of a mathematical function that allows solving equations without requiring extensive manual calculations. Although electronic calculators have relegated their use, nomograms still have advantages in engineering education, especially in repetitive calculations and the two-dimensional representation of multiple input and response variables. In addition, nomograms help handle different unit systems, reduce the probability of magnitude errors, and are robust to failures. These tools have been tested on undergraduate and graduate students in various engineering fields. Subsequently, a Likert-scale survey was conducted, which shows that students have a great interest in these tools and find them helpful in the engineering learning process. Even though 78.4 % of the respondents had not used nomograms, 86.5 % believe this analogical tool allows a reasonable interpretation of the phenomenon when there are many variables. Furthermore, there is a majority opinion that teachers should use nomograms in teaching.*

### **Keywords:**

*Nomograms, graphical computing, engineering education, analogical skills, Likert scale*

---

### **Resumen**

*Los nomogramas son una herramienta matemática antigua y eficiente para resolver problemas complejos. Se trata de una representación gráfica de una función matemática que permite resolver ecuaciones sin necesidad de realizar cálculos manuales exhaustivos. Aunque las calculadoras electrónicas han relegado su uso, los nomogramas todavía tienen ventajas en la docencia de la ingeniería, especialmente en cálculos repetitivos y en la representación en dos dimensiones de múltiples variables de entrada y respuesta. Además, los nomogramas son útiles en el manejo de distintos sistemas de unidades, reducen la*

*probabilidad de errores de magnitud y son robustos a fallos. Se ha probado el uso de estas herramientas en estudiantes de grado y posgrado en diversas ingenierías. Posteriormente, se realizó una encuesta en escala Likert que demuestra que los estudiantes tienen un gran interés en estas herramientas y encuentran que son útiles en el proceso de aprendizaje de la ingeniería. A pesar de que un 78,4 % de los encuestados no habían utilizado nomogramas, el 86,5 % cree que esta herramienta analógica permite una buena interpretación del fenómeno cuando hay muchas variables. Además, es mayoritaria la opinión de que los profesores deberían utilizar los nomogramas en la docencia.*

**Palabras clave:** *Nomogramas, cálculo gráfico, enseñanza de la ingeniería, competencias analógicas, escala Likert*

## 1. Introducción

En el ámbito de la ciencia e ingeniería, es común crear modelos físicos a partir del análisis de un problema (Mottola & Cocconcelli, 2023). Estos modelos suelen contener ecuaciones matemáticas que pueden relacionar varios parámetros escalares, algunos de los cuales pueden ser derivados de los demás. Resolver ecuaciones matemáticas, especialmente las más complejas, requiere un dispositivo computacional debido a que los pasos son tediosos o demasiado largos. Los cálculos manuales tienen un alto riesgo de errores, lo que puede invalidar todos los resultados y es difícil de verificar los pasos intermedios.

Un método para resolver este tipo de problemas son los métodos gráficos. Estos métodos suelen ser más rápidos y fáciles de entender que los procedimientos analíticos, incluso para aquellos con conocimientos matemáticos limitados. Además, ofrecen una visualización intrínseca de los datos, lo que permite detectar posibles errores y proporciona una mejor comprensión de las relaciones entre los parámetros. Aunque la precisión de los métodos gráficos depende de las herramientas utilizadas y de la habilidad del usuario, en la mayoría de los casos esta precisión es suficiente.

Los métodos gráficos, como los nomogramas, eran comúnmente utilizados, especialmente en la enseñanza y práctica de la ingeniería (Doerfler, 2009; Evesham, 1986; Hankins, 1999). Los nomogramas son una forma antigua y eficiente de resolver problemas matemáticos complejos. Se trata de una representación gráfica de una función matemática que permite la resolución de ecuaciones sin la necesidad de realizar cálculos manuales exhaustivos. La historia de los nomogramas se remonta al siglo XVII, cuando fueron utilizados por primera vez por matemáticos europeos. Sin embargo, hoy han sido ampliamente superados por los métodos digitales. A pesar de ello, los métodos gráficos siguen siendo valiosos para su estudio, como parte de la historia más amplia de la ciencia y como herramientas didácticas para introducir los conceptos matemáticos subyacentes a los problemas.

Los nomogramas son sistemas de escalas que se utilizan como herramientas gráficas. Estos sistemas se diseñan de forma que la relación matemática entre las variables puede expresarse en una forma geométrica simple. Así, un nomograma puede resolver una ecuación seleccionando las variables de entrada y marcando el punto correspondiente en las escalas respectivas. La solución se encuentra mediante una construcción geométrica que puede realizarse con una regla (Martínez-Pagán & Roschier 2022a,b).

Los primeros nomogramas eran básicos y se utilizaban principalmente para calcular la solución a una ecuación lineal. Sin embargo, con el tiempo, los nomogramas se volvieron más complejos y se utilizaron para resolver una amplia gama de problemas matemáticos. En el siglo XIX, los nomogramas se utilizaron ampliamente en el cálculo de la navegación astronómica, lo que les permitió a los navegantes calcular la

posición de los objetos celestes de manera precisa. En la década de 1920, los nomogramas comenzaron a utilizarse en la ingeniería para resolver problemas relacionados con la presión, el volumen y la temperatura, entre otros aspectos. Estos instrumentos eran particularmente útiles en la resolución de problemas complejos que requerían cálculos exhaustivos, lo que les permitía a los ingenieros trabajar de manera más eficiente. A medida que la tecnología se desarrolló en el siglo XX, los nomogramas comenzaron a utilizarse en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la ingeniería aeroespacial, la medicina y la química. Estos instrumentos se volvieron esenciales en la resolución de problemas complejos en estos campos, y se convirtieron en una herramienta valiosa para profesionales y estudiantes en todo el mundo.

Con el auge de la tecnología digital en la década de 1980, los nomogramas comenzaron a perder terreno. La capacidad de las computadoras para realizar cálculos exhaustivos de manera rápida y precisa significó que los nomogramas ya no eran necesarios para resolver muchos problemas matemáticos. No obstante, aunque en la actualidad la nomografía no es común, todavía tiene aplicaciones prácticas (Schwitzke *et al.*, 2010). Por ejemplo, en operaciones de taller o en investigación de campo, los nomogramas impresos son interesantes debido a su resistencia y portabilidad. Además, la nomografía puede ser una herramienta didáctica valiosa para explicar temas complejos a través de una visualización clara, pues ofrecen una clara visión de las relaciones entre las variables, lo que puede perderse al examinar una ecuación compleja (Uzoigwe *et al.*, 2017).

A continuación se evidencia la necesidad de incorporar herramientas analógicas gráficas en la docencia para mejorar las competencias de los futuros egresados (Torres-Machí *et al.*, 2013; Yepes *et al.*, 2012). En efecto, la mayoría de las universidades de ciencias e ingeniería han eliminado el estudio práctico de la nomografía de sus planes de estudio. Esta falta de formación contribuye al analfabetismo o dificultad entre ingenieros, científicos y profesionales en la construcción más básica y la interpretación de nomogramas. Aunque en la actualidad la nomografía no es común, hay una cantidad significativa de documentación técnica y científica (Bouso & Martínez-Pagán, 2023; Nicoletti *et al.*, 2022; Shamu *et al.*, 2021; Ulas *et al.*, 2018), libros, folletos de especificaciones de maquinaria o catálogos de fabricantes, en los que se presentan muchas relaciones matemáticas bajo nomogramas (Yepes, 2022, Martínez-Pagán *et al.*, 2023).

La nomografía es una herramienta valiosa que debería incluirse en los planes de estudio de ciencias e ingeniería por las siguientes razones: i) resulta atractiva e inusual, lo que puede provocar interés en los estudiantes, ii) proporciona habilidades básicas para diseñar y interpretar nomogramas, evitando que este conocimiento se pierda, iii) ayuda a comprender fórmulas complejas y cómo se relacionan sus variables, iv) es útil para las personas que prefieren las imágenes a las ecuaciones para entender cálculos complejos, v) se puede beneficiar de la informática moderna para producir nomogramas personalizados rápidamente y de manera confiable, y vi) es una solución precisa y rápida para situaciones en las que no se tiene acceso a computadoras o calculadoras de mano (Douglas & Danciu, 2020; Glasser & Doerfler, 2019).

En el ámbito docente de la ingeniería, el uso de nomogramas encuentra su utilidad en fórmulas empíricas y en situaciones donde no se dispone de una calculadora científica, así como la capacidad de representar visualmente múltiples variables en dos dimensiones. También permiten trabajar con diferentes sistemas de unidades, reducen la probabilidad de errores de magnitud, son resistentes a fallos y pueden ser utilizados como herramienta de mercadotecnia. Por otro lado, las desventajas incluyen la dependencia de la calidad del diseño del nomograma, la posibilidad de errores en su diseño, una precisión menor en comparación con calculadoras programables o hojas de cálculo, y pueden ser tediosos para el alumno. Además, siempre se debe verificar el nomograma con su formulación correspondiente para evitar confusiones.

Para contextualizar el estudio, éste se ha realizado en cuatro titulaciones vinculadas a la ingeniería durante el segundo cuatrimestre del curso 2022-23. Se trata del doble grado de matemáticas e ingeniería civil (DMIC) de la Universitat Politècnica de València, en su segundo curso, con un total de 14 estudiantes; el máster universitario en ingeniería del hormigón (MIUH) de la misma universidad, en su primer curso, con 10 estudiantes; el grado en ingeniería de recursos minerales y energía (GIRME) de la Universidad Politécnica de Cartagena, en su tercer curso, con 6 estudiantes; y finalmente, el máster en ingeniería de caminos, canales y puertos (MICCP) de la misma universidad, en su segundo curso, con 7 estudiantes. Se realizó una muestra de conveniencia no probabilística, constando la muestra de 37 participantes. La elección de estas titulaciones se ha justificado por la diversidad de perfiles de estudiantes de ingeniería, edades, nacionalidades, niveles de estudio y universidades.

Este trabajo tiene como objetivo respaldar los puntos mencionados anteriormente, destacando la capacidad de la nomografía como herramienta pedagógica (Bouso & Martínez-Pagán, 2023). Durante las clases se llevaría a cabo una discusión sobre los nomogramas, comparándolos con las ecuaciones de las cuales se derivan, así como con otros métodos gráficos. Para esto, se podría organizar un breve seminario en el transcurso del curso. Posteriormente, se realizaría una evaluación de las ventajas e inconvenientes percibidos de los nomogramas, a través de cuestionarios propuestos a los alumnos al finalizar el curso. Además, existe la necesidad de definir métodos para evaluar científicamente el impacto pedagógico, lo cual podría generar una interesante oportunidad de colaboración intersectorial con investigadores de psicología y ciencias sociales.

## **2. Objetivos**

Esta comunicación tiene como objetivos los que se relacionan a continuación:

1. Evaluar la influencia de la implementación de nomogramas en el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería y determinar su impacto en la mejora de su comprensión y aplicación de conceptos.
2. Investigar y comparar las percepciones de los estudiantes de ingeniería de diferentes titulaciones y rangos de edad con respecto al uso de nomogramas en el proceso de aprendizaje, y analizar cómo estas diferencias pueden afectar su efectividad.
3. Medir la eficacia de los nomogramas como herramientas de enseñanza en el ámbito de la ingeniería, evaluando su capacidad para facilitar la comprensión de múltiples variables y reducir los errores en los cálculos, con el objetivo final de mejorar el aprendizaje y el desempeño de los estudiantes.

## **3. Desarrollo de la innovación**

La innovación planteada consiste en introducir a los estudiantes una herramienta poco utilizada en la docencia de la ingeniería como son los nomogramas. El proceso se desglosa en una serie de actividades en cascada, tal como se muestra en la Figura 1. En primer lugar, el profesor proporciona una breve explicación sobre la utilidad y el uso actual de los nomogramas en la ingeniería. A continuación, se establece un reto para los estudiantes: resolver un problema sin utilizar una calculadora. Luego, los estudiantes verifican su resultado utilizando la calculadora y se les pide que completen una encuesta para conocer su opinión sobre el uso de los nomogramas. Finalmente, se lleva a cabo un debate en el aula para discutir las ventajas e inconvenientes del uso de los nomogramas. Se realiza después de la encuesta para evitar el sesgo en las respuestas.

La novedad radica en la recuperación de una herramienta analógica que no se incluye habitualmente en la enseñanza universitaria de ingeniería. Sin embargo, la metodología que se propone va más allá, pues las actividades en sí mismas constituyen un esquema de aprendizaje diferente al convencional. Se combina la

presentación del profesor con actividades en las que el estudiante es el protagonista, lo que le permite aprender mediante la práctica. Además, se ofrece la oportunidad de expresar sus opiniones mediante encuestas y discusiones con sus compañeros sobre el tema. La ventaja de esta metodología es que se puede aplicar a cualquier tema y titulación, independientemente de su orientación hacia las ciencias o la ingeniería. Por tanto, se trata de una metodología en la que la retroalimentación de la información y el debate promueven el aprendizaje.

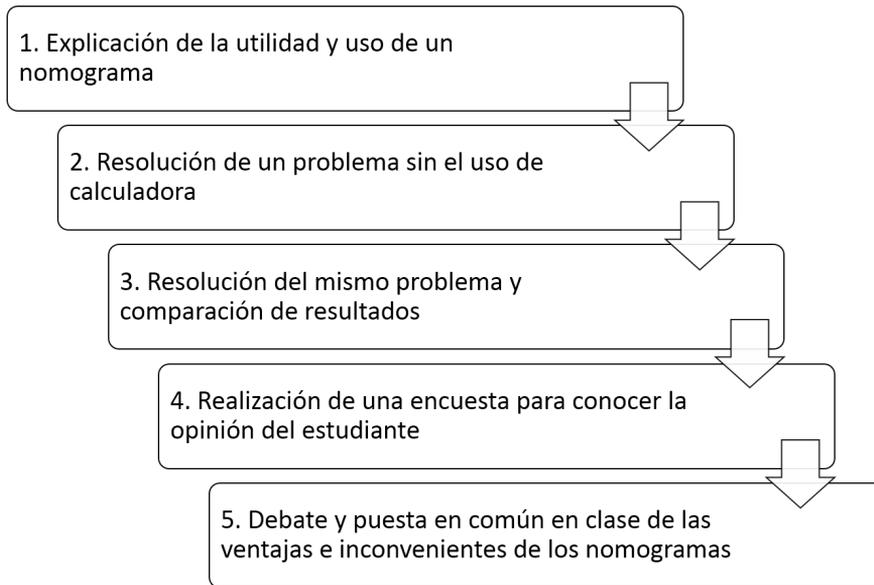


Fig. 1 Esquema en cascada de la propuesta innovadora en relación con el uso de nomogramas

Durante la primera fase, el profesor instruye sobre el uso, ventajas y limitaciones del nomograma. Este instrumento sigue siendo mencionado en numerosos libros, folletos y artículos, lo que hace que su conocimiento sea útil para los futuros ingenieros. Las ventajas del nomograma incluyen su utilidad en casos de fórmulas empíricas, la posibilidad de realizar cálculos repetitivos, la visualización de más de dos variables en una sola gráfica, la representación en dos dimensiones de múltiples variables de entrada y respuesta, la capacidad de manejar distintos sistemas de unidades, la reducción de errores de magnitud y su robustez a fallos. Por otro lado, las desventajas del nomograma incluyen la dependencia de la calidad de su diseño, la posibilidad de errores no detectados en su diseño, una menor precisión en comparación con una calculadora programable o una hoja de cálculo, la tediosidad o aburrimiento que puede generar en los alumnos y la necesidad de siempre verificarlo con su formulación correspondiente.

Así, basándose el nomograma ilustrado en la Figura 2, se puede calcular el peso específico de un suelo saturado, dado su índice de poros y el peso específico de sus partículas sólidas. Una ventaja adicional es que permite el uso de distintos sistemas de unidades y evita que el usuario obtenga resultados sin sentido, algo que podría suceder si se utiliza únicamente la fórmula. Por ejemplo, si se intenta estimar la porosidad de un suelo con un peso específico de partículas sólidas de  $28 \text{ kN/m}^3$  y un peso específico saturado de  $16 \text{ kN/m}^3$ , se llega a un resultado anómalo que queda fuera del rango de la escala del nomograma.

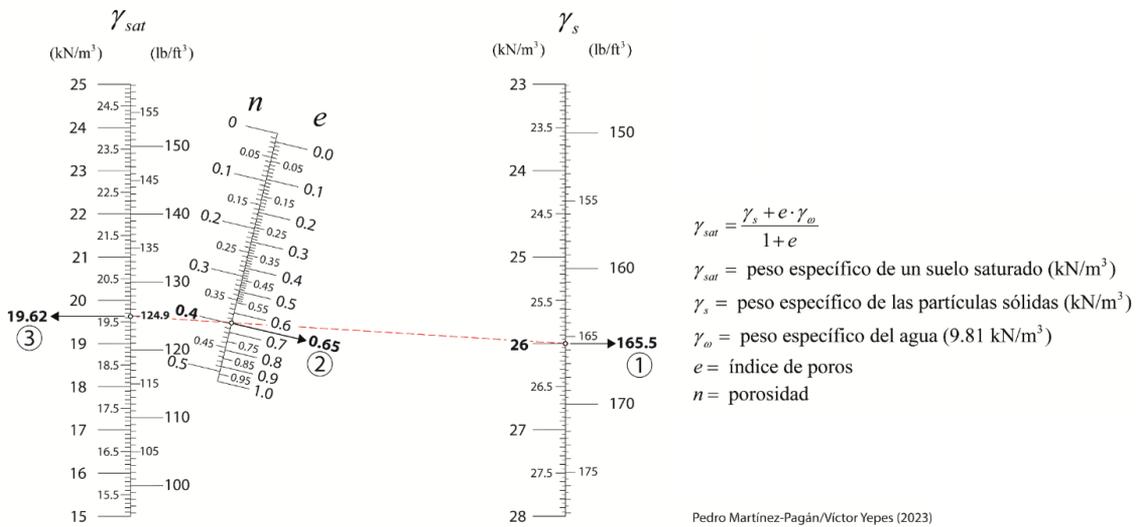


Fig. 2 Nomograma para el cálculo del peso específico saturado de un suelo

En la segunda fase de la metodología, se propone a los estudiantes que utilicen el nomograma presentado en la Figura 3 para seleccionar, sin el uso de calculadoras, el material que debe emplearse en una cuneta. En esta instancia, lo interesante es que no se solicita una respuesta numérica, sino que se debe elegir el coeficiente de rugosidad correcto. En estas circunstancias, cuando se utiliza una fórmula empírica que precisa coeficientes que figuran en tablas, el nomograma resulta competitivo con una calculadora. En efecto, incluso con la calculadora hay que acudir a un texto escrito para consultar sus valores. Para eso, un nomograma puede ser más eficaz, pues la tabla puede estar incluida (ver Figura 3).

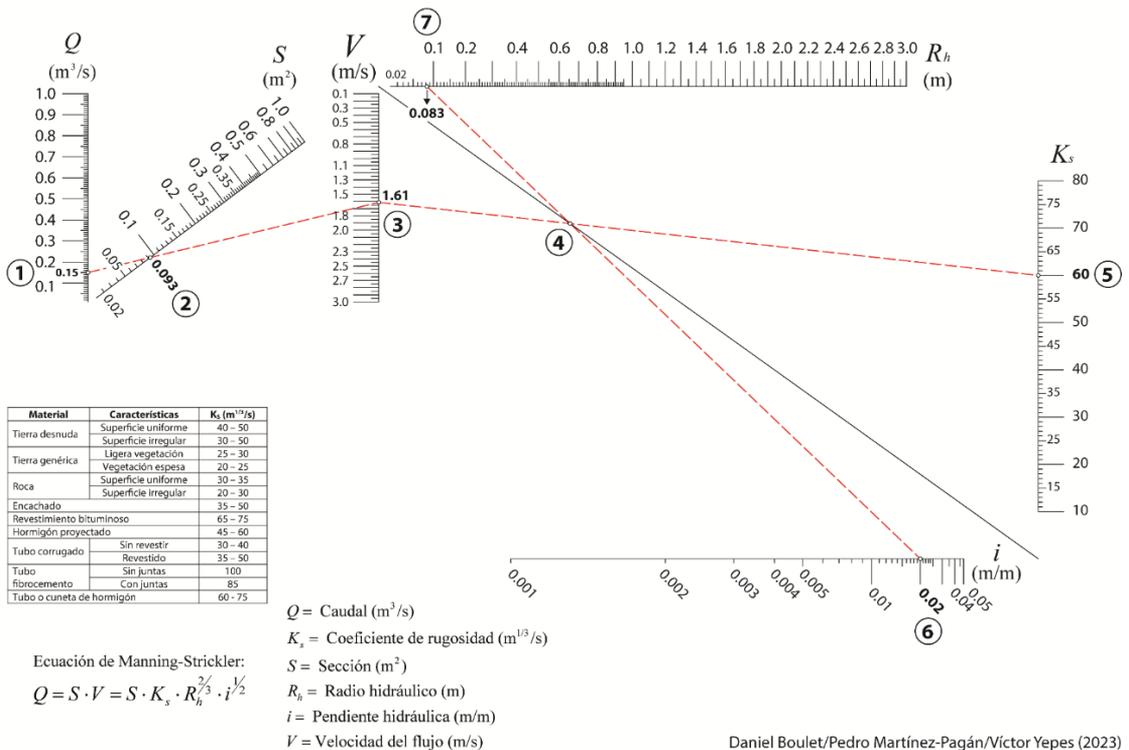


Fig. 3 Nomograma para el dimensionamiento de una cuneta para drenaje de carretera

En la tercera fase de esta propuesta metodológica se procede a la realización de una encuesta que se describe en la sección de resultados. Posteriormente se plantea un debate entre los estudiantes para valorar el uso de esta herramienta analógica en la práctica de la ingeniería. Entre las ideas que se discutieron, se recogen aquí las más significativas. El nomograma es una herramienta útil para cálculos simples en ausencia de una calculadora, y es recomendable proporcionar una leyenda explicativa para los usuarios inexpertos. También es conveniente en el ámbito educativo y laboral, si se enseña a usar adecuadamente. Aunque las herramientas computacionales presentan un abanico más amplio de aplicaciones, una de las mejores cualidades de los nomogramas es su capacidad para apreciar gráficamente la dependencia de los cambios entre las variables en una fórmula con muchas variables, si bien no son tan precisos como los resultados de una calculadora. En resumen, son valiosos para simplificar cálculos, pero es esencial que se comprenda su uso y se enseñe correctamente.

## 4. Resultados obtenidos

Con el fin de determinar la percepción de los estudiantes sobre el uso de los nomogramas en la enseñanza de la ingeniería, se ha elaborado un cuestionario para llevar a cabo una encuesta anónima. El cuestionario se divide en dos partes: la primera tiene como objetivo caracterizar al encuestado, solicitando información sobre su tipo de máster, género, edad, titulación de entrada al título y lugar de origen. La segunda parte consta de 9 preguntas diseñadas para conocer la opinión del encuestado sobre la importancia de la comunicación efectiva. Se utiliza una escala Likert de 5 opciones para las respuestas: 1) muy en desacuerdo, 2) algo en desacuerdo, 3) ni de acuerdo ni en desacuerdo, 4) algo de acuerdo, 5) muy de acuerdo.

### 4.1. Caracterización de la encuesta realizada

Se realizó una muestra de conveniencia no probabilística a estudiantes de grado y máster en la Universitat Politècnica de València (MIUH y DMIC) y en la Universidad Politécnica de Cartagena (MICCP y GIRME) durante el segundo cuatrimestre del curso 2022-23. La muestra constó de 37 participantes, de los cuales 10 (27,0%) pertenecían al MIUH, 14 (37,8%) al DMIC, 7 (18,9%) al MICCP y 6 (16,2%) al GIRME. Se utilizó un nivel de confianza del 95 % con  $p=q=0,5$ , lo cual implica un error muestral del 16,1%, suponiendo que la muestra representa una población infinita. Se empleó la herramienta de tratamiento de datos y análisis estadístico SPSS 16 y también Minitab 17. Se examinaron las variables y se aplicó un análisis multivariante para interpretar los resultados.

El perfil típico del encuestado corresponde con un varón (62,2 %) de nacionalidad española (73,0 %). En cuanto a grupos de edad, el 43,2% tenía 21 años o menos, el 21,6% estaba en el rango de edad de 22 a 24 años, el 21,6% estaba en el rango de 25 a 30 años, y el 13,6% restante tenía más de 30 años. Además, el 21,6% de los estudiantes encuestados provenían de países iberoamericanos.

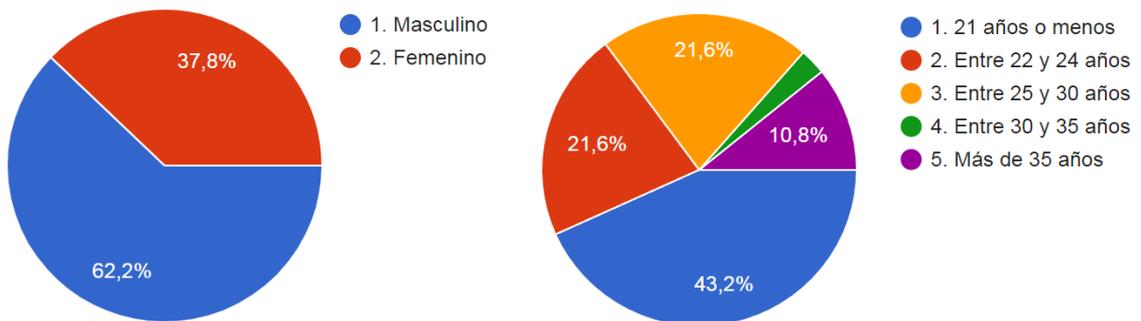


Fig. 4 Caracterización de la muestra analizada según sexo y edad

#### 4.2. Análisis estadístico descriptivo

La Tabla 1 recoge la media y la desviación típica obtenidas para cada una de las nueve preguntas realizadas a los encuestados. Se comprueba que, aquellas afirmaciones con las que se está más de acuerdo es que (P3) “Un nomograma es útil si no dispongo de calculadora” y (P8) “Creo que es útil que los profesores utilicen herramientas analógicas como el nomograma en la docencia”. En ambos casos, las respuestas están menos dispersas que en el resto de las afirmaciones. En cambio, con lo que menos de acuerdo se está es con (P9) “Los nomogramas son algo del pasado y no debería perderse el tiempo en ellos” y (P6) “Un nomograma es inútil hoy día ante el uso de calculadoras u ordenadores”. Por otro lado, las afirmaciones con menor grado de acuerdo y, por tanto, con una mayor dispersión, son (P1) “Casi nunca he utilizado un nomograma en el ámbito docente o profesional” y (P2) “Si no dispongo de una calculadora, no soy capaz de calcular fórmulas complejas”. Es evidente que los estudiantes están dispuestos a utilizar los nomogramas en la docencia.

**Tabla 1. Media y desviación típica de las respuestas al cuestionario**

Nº	Pregunta	Media	D. Típ.
P3	Un nomograma es útil si no dispongo de calculadora	4,68	,626
P8	Creo que es útil que los profesores utilicen herramientas analógicas como el nomograma en la docencia	4,22	,672
P1	Casi nunca he utilizado un nomograma en el ámbito docente o profesional	4,16	1,302
P7	Un nomograma permite una buena interpretación del fenómeno cuando hay muchas variables	4,14	,787
P4	Un nomograma es útil para quien no tiene conocimientos matemáticos	4,11	,906
P5	Un nomograma es útil ante cálculos muy repetitivos	3,86	1,159
P2	Si no dispongo de una calculadora, no soy capaz de calcular fórmulas complejas	3,51	1,239
P6	Un nomograma es inútil hoy día ante el uso de calculadoras u ordenadores	2,62	1,139
P9	Los nomogramas son algo del pasado y no debería perderse el tiempo en ellos	1,97	,799

Después de analizar las preguntas realizadas, se ha comprobado que no existe una fuerte correlación entre ellas. La correlación más destacable, con un valor de  $-0,454$  en el coeficiente de correlación de Pearson y significancia bilateral al nivel  $0,01$ , se encuentra entre las preguntas (P8) y (P9). Esto indica que la opinión de que los nomogramas no son algo del pasado y que, por tanto, vale la pena emplear el tiempo en ellos, se relaciona con la idea de que el profesor utilice nomogramas en la docencia. Asimismo, la pregunta (P8) se correlaciona con la pregunta (P6) con un coeficiente de correlación de Pearson de  $-0,398$  y significancia bilateral al nivel  $0,05$ . Esto sugiere que el uso de nomogramas también se relaciona con la idea de que estos no son inútiles hoy en día ante el uso de calculadoras u ordenadores.

Los estudiantes del MICCP están en desacuerdo en menor medida con la afirmación de que nunca han utilizado un nomograma, en comparación con los estudiantes del DMIC que opinan que nunca lo han utilizado. Por otro lado, los estudiantes del DMIC están en desacuerdo en menor medida con la afirmación de que no son capaces de calcular fórmulas complejas si no tienen una calculadora. Finalmente, los estudiantes del MICCP están en desacuerdo en menor medida con la afirmación de que un nomograma es inútil hoy en día. Tampoco se aprecian diferencias significativas en la opinión según el sexo.

Sin embargo, se encontró una diferencia significativa en la pregunta P1 ( $p$ -valor = 0,000) en relación con la edad. Se observa que los participantes más jóvenes nunca han utilizado nomogramas, mientras que a medida que aumenta la edad, el uso de los mismos también aumenta significativamente. En la Figura 5 se comprueban los solapamientos entre los intervalos de confianza al 95 % de las medias de todas las preguntas, excepto para P6 y P9, cuyas medias son significativamente más bajas.

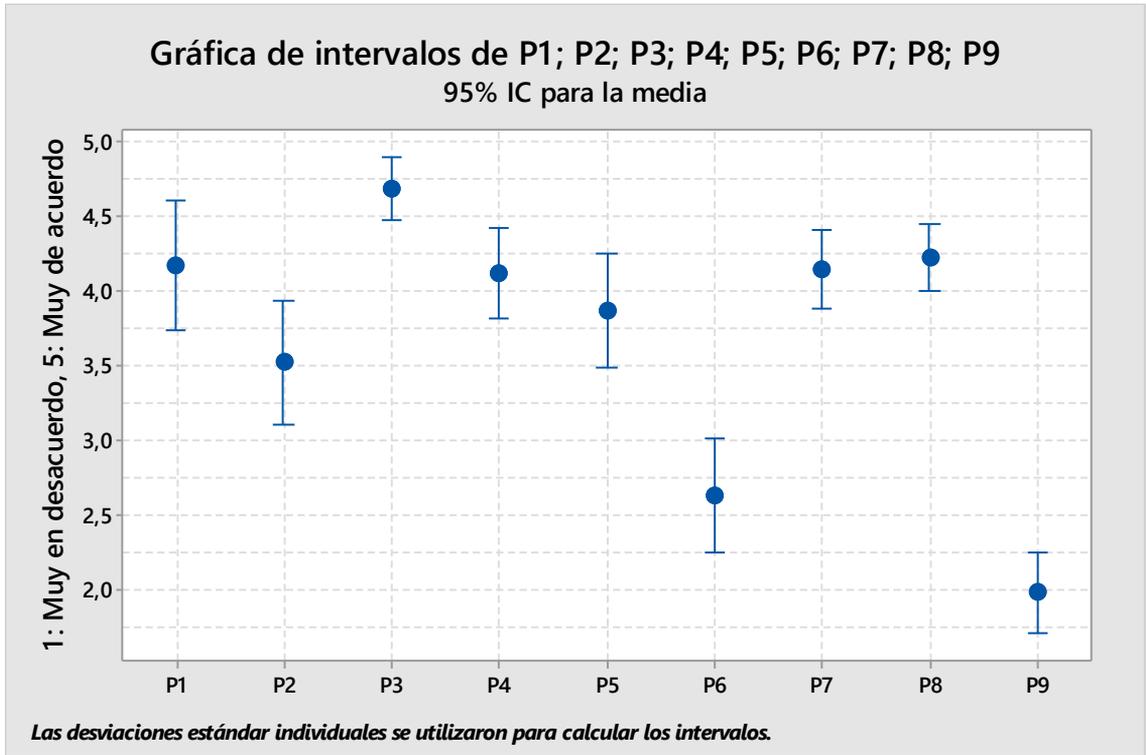


Fig. 5 Gráfica de la media con un intervalo de confianza del 95 %

En la Figura 6 se observa la variación de opiniones entre los grupos encuestados acerca de la utilidad que le atribuyen los estudiantes al uso de herramientas analógicas, como el nomograma, por parte de los profesores en la enseñanza. La pregunta central del estudio es la P8. Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre las medias debido a que los intervalos de confianza se superponen. Sin embargo, se puede notar una opinión más favorable en los estudiantes de máster en comparación con los de grado. Además, se destaca una mayor variabilidad en los resultados obtenidos en el grupo GIRME de los estudiantes de grado.

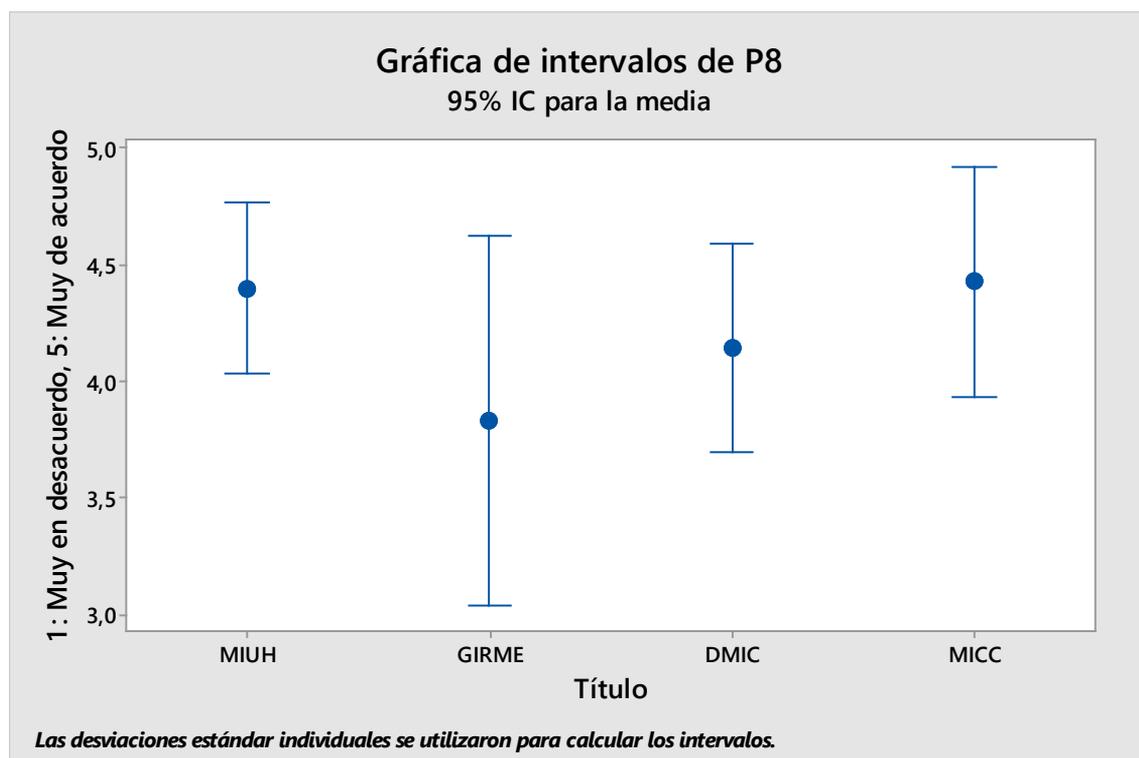


Fig. 6 Gráfica de la media con un intervalo de confianza del 95 % para la pregunta P8

### 4.3. Aplicación del análisis multivariante

A continuación, se llevará a cabo un análisis factorial utilizando el método de componentes principales (Yepes *et al.*, 2009) con el fin de identificar las variables subyacentes o factores que expliquen la configuración de las correlaciones dentro del conjunto de variables observadas. En otras palabras, se busca determinar los "constructos" o variables subyacentes que expliquen la mayor parte de la varianza observada.

#### 4.3.1. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales evalúa la interdependencia entre variables para reducir la dimensión de un conjunto original de variables a un subconjunto nuevo compuesto por variables no observables. En resumen, se calculan factores que son una combinación lineal de las variables originales y que son independientes entre sí. La primera componente principal se selecciona para explicar la mayor parte posible de la varianza de las variables originales y así sucesivamente. Esta técnica no asume una dependencia previa entre las variables y, por lo tanto, se aplica antes de realizar una regresión múltiple (Shaw, 2003). Para evitar que la unidad de medida influya en los resultados, se ha utilizado la matriz de correlaciones en lugar de la de covarianzas. De esta manera, el valor medio de los componentes principales es 0 y su desviación típica es 1. Se ha considerado que el número de componentes principales es determinado por su autovalor, que debe ser mayor a 1. Se aplicó el método Varimax para facilitar la interpretación, lo que implica una rotación ortogonal que reduce el número de variables con saturaciones altas en cada factor (Kaiser, 1958).

**Tabla 2. Comunalidades**

Nº	Pregunta	Extracción
P7	Un nomograma permite una buena interpretación del fenómeno cuando hay muchas variables	,751
P9	Los nomogramas son algo del pasado y no debería perderse el tiempo en ellos	,597
P8	Creo que es útil que los profesores utilicen herramientas analógicas como el nomograma en la docencia	,587
P3	Un nomograma es útil si no dispongo de calculadora	,572
P6	Un nomograma es inútil hoy día ante el uso de calculadoras u ordenadores	,564
P5	Un nomograma es útil ante cálculos muy repetitivos	,547
P1	Casi nunca he utilizado un nomograma en el ámbito docente o profesional	,504
P2	Si no dispongo de una calculadora, no soy capaz de calcular fórmulas complejas	,420
P4	Un nomograma es útil para quien no tiene conocimientos matemáticos	,408

Cada variable se explica al 100% antes de extraer los componentes principales. Después de la extracción, se pierde información, pues no se explica toda la variabilidad de cada variable. En la Tabla 2 se refleja la desviación estandarizada después de la extracción, es decir, las comunalidades, las cuales miden el grado de información que se tiene después de la extracción. La pregunta P7, que trata sobre si un nomograma permite una buena interpretación del fenómeno cuando hay muchas variables, es la que mejor explica el modelo, mientras que la pregunta P4, que se refiere a si un nomograma es útil para aquellos que no tienen conocimientos matemáticos, es la que menos lo hace. Se eliminan las preguntas P2 y P4 para el análisis de componentes principales pues tienen una desviación estandarizada inferior a 0,500, lo que indica una falta de explicación en sus comunalidades.

Se identifican tres componentes principales que explican el 65,3% de la variabilidad en nueve preguntas de la encuesta. Estos componentes están relacionados con diferentes aspectos, según se detalla en la Tabla 3.

- Componente 1: Uso actual del uso de nomogramas y utilidad en la docencia
- Componente 2: Utilidad del nomograma ante cálculos repetitivos o sin calculadora
- Componente 3: Utilidad del nomograma en la interpretación de múltiples variables

**Tabla 3. Varianza total explicada**

Autovalores iniciales			
Componente	Total	% de la varianza	% acumulado
1	2,181	31,159	31,159
2	1,234	17,624	48,783
3	1,155	16,503	65,286

La Tabla 4 muestra la matriz factorial de los componentes rotados, que indica la correlación entre los componentes principales y las variables originales. La matriz representa los pesos de cada variable en la relación lineal de cada componente principal con las diferentes variables.

**Tabla 4. Matriz de componentes rotados**

Componentes		1	2	3
Nº	Pregunta			
P1	Casi nunca he utilizado un nomograma en el ámbito docente o profesional	,734		
P3	Un nomograma es útil si no dispongo de calculadora		,720	
P5	Un nomograma es útil ante cálculos muy repetitivos		,832	
P6	Un nomograma es inútil hoy día ante el uso de calculadoras u ordenadores	,688		
P7	Un nomograma permite una buena interpretación del fenómeno cuando hay muchas variables			,913
P8	Creo que es útil que los profesores utilicen herramientas analógicas como el nomograma en la docencia	-	,700	
P9	Los nomogramas son algo del pasado y no debería perderse el tiempo en ellos	,667		

Método de extracción: Análisis de componentes principales. Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser. Se han suprimido valores absolutos menores a 0,5.

a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.

## 5. Conclusiones

Este artículo propone una innovación en la enseñanza de la ingeniería al introducir a los estudiantes en el uso de los nomogramas, herramientas poco comunes en la docencia universitaria. El objetivo principal de esta investigación es medir el índice de logro de los objetivos establecidos, centrándonos en la consecución de los mismos. Los resultados de la encuesta realizada a estudiantes de ingeniería muestran una opinión favorable hacia el uso de los nomogramas en el aprendizaje, lo cual está en línea con estudios previos sobre el tema. Los resultados de la investigación, que se realizaron en dos cursos de maestría y dos de grado de diferentes universidades politécnicas, sugieren que se pueden extrapolar los resultados a otros ámbitos científicos e ingenieriles.

En efecto, los estudiantes expresan un acuerdo general en cuanto a la utilidad de los nomogramas en situaciones donde no se dispone de calculadoras, así como la importancia de que los profesores utilicen herramientas analógicas como los nomogramas en la docencia. En la misma línea, hay menos acuerdo sobre la idea de que los nomogramas son algo del pasado y que no deberían usarse debido a la prevalencia de calculadoras y ordenadores. El estudio identifica tres componentes principales que explican el 65.3% de la varianza en las respuestas de la encuesta: el uso actual de los nomogramas en la docencia, su utilidad en cálculos repetitivos o sin calculadoras, y su importancia en la interpretación de múltiples variables.

Además, se observaron diferencias significativas en las opiniones de los estudiantes según su titulación, pero no según su género. Los estudiantes de la titulación MICCP muestran una mayor familiaridad y valoración de los nomogramas como herramienta útil, a diferencia de los estudiantes del DMIC, que tienen menos experiencia y no los consideran tan útiles. La edad también influye en el uso de los nomogramas, ya

que los participantes más jóvenes no tienen experiencia previa con ellos, a diferencia de los participantes mayores.

La metodología propuesta en este estudio se puede aplicar en otros contextos educativos, más allá de las ciencias e ingenierías, y es sostenible a largo plazo. Se destaca la combinación de presentaciones por parte del profesor con actividades prácticas que involucran al estudiante y fomentan la retroalimentación. Se resalta la utilidad de los nomogramas en fórmulas empíricas y en la visualización de múltiples variables en una sola gráfica. No obstante, también se mencionan las limitaciones de los nomogramas, como la necesidad de verificar los resultados con la formulación correspondiente. Se concluye que los nomogramas son valiosos para simplificar cálculos, pero es esencial entender su uso y enseñarlos correctamente.

En general, parece razonable utilizar los nomogramas en la enseñanza universitaria de ingeniería, pues se ha comprobado que mejora el aprendizaje del alumnado. Si se utilizan adecuadamente, los nomogramas pueden ser una herramienta valiosa para visualizar y comprender múltiples variables y para evitar errores en los cálculos. Sin embargo, es importante asegurarse de la calidad del diseño y siempre verificar los resultados con la formulación correspondiente.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de los estudiantes de la Universidad Politécnica de Cartagena y de la Universitat Politècnica de València que han participado en las encuestas, así como el apoyo recibido por el Ministerio de Ciencia e Innovación (Proyecto de Investigación PID2020-117056RB-I00).

## 7. Referencias

- Bouso, J. L., & Martínez-Pagán, P. (2023). Bombeo de Pulpas Minerales. Diferentes Procedimientos de cálculo. *Rocas y Minerales*, 605, 56-73.
- Doerfler, R. (2009). On Jargon. The lost art of nomography. *The UMAP Journal*, 30(4), 457-493.
- Douglas, J., & Danciu, L. (2020). Nomogram to help explain probabilistic seismic hazard. *Journal of Seismology*, 24, 221-228. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09885-4>.
- Evesham, H.A. (1986). Origins and development of nomography. *IEEE Annals of the History of Computing*, 8(4), 324-333. <https://doi.org/10.1109/MAHC.1986.10059>.
- Glasser, L., & Doerfler, R. (2019). A brief introduction to nomography: graphical representation of mathematical relationships. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 50(8), 1273-1284. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1527406>
- Hankins, T. L. (1999). Blood, dirt, and nomograms: A particular history of graphs. *Isis*, 90(1), 50-80. <https://doi.org/10.1086/384241>.
- Martínez-Pagán, P., & Roschier, L. (2022a). Nomography: A renewed pedagogical tool to sciences and engineering high-education Studies. *Heliyon*, 8(6), 309731. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09731>
- Martínez-Pagán, P., & Roschier, L. (2022b). PyNomo software dataset for sciences and engineering nomogram construction. *Data in Brief*, 45, 108661. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108661>
- Martínez-Pagán, Yepes, V., & Martínez-Segura, M.A. (2023). *Ejercicios resueltos de sistemas de transporte continuo: bombas y cintas transportadoras*. Ediciones UPCT. Universidad Politécnica de Cartagena.

- Mottola, G., & Cocconcelli, M. (2023). Nomograms in the history and education of machine mechanics. *Foundations of Science*, . <https://doi.org/10.1007/s10699-022-09890-w>
- Nicoletti, V., Carbonari, S., & Gara, F. (2022). Nomograms for the pre-dimensioning of RC beam-column joints according to Eurocode 8. *Structures*, 39, 958–973. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.083>
- Schwitzke, M., Bachmann, V., & Freyer, T. (2010). Nomograms at civil engineering - The construction of nomograms. *Der Bauingenieur : Zeitschrift Für Das Gesamte Bauwesen*, 85, 82–86.
- Shamu, T.J., Zou, L., & Hakansson, U. (2021). A nomogram for cement-based rock grouting. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 116, 104110. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104110>
- Torres-Machí, C., Carrión, A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2013). Employability of graduate students in construction management. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 139(2), 163-170. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000139](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000139)
- Ulas, M.A., Alymac, K.E., & Ulucan, Z.C. (2018). Development of nomogram for the practical mix design of steel fiber reinforced concrete. *Construction & Building Materials*, 181, 437–446. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.057>
- Uzoigwe, L.O., Udeorji, C.K., Ekwughonu, J.O., & Samuel, C. (2017). Development of nomography as quick estimation for engineering solutions. *International Journal in IT & Engineering*, 5(7), 29-47.
- Yepes, V. (2022). *Gestión de costes y producción de maquinaria de construcción*. Colección Manual de Referencia, serie Ingeniería Civil. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Yepes, V., Díaz, J., González-Vidosa, F., & Alcalá, J. (2009). Statistical characterization of prestressed concrete road bridge decks. *Revista de la Construcción*, 8(2), 95-109.
- Yepes, V., Pellicer, E., & Ortega, A.J. (2012). Designing a benchmark indicator for managerial competences in construction at the graduate level. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 138(1), 48-54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000075](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000075)