

09-007

CHARACTERIZATION OF THE RELATIONAL REASONING SKILLS OF DESIGN ENGINEERING STUDENTS

Cano-Moreno, Juan David (1); Arenas Reina, José Manuel (1); Sánchez Martínez, Francisca
Victoria (1); Islán Marcos, Manuel Enrique (1)

(1) Universidad Politécnica de Madrid

The use of creativity techniques is increasingly present in design engineering, as a result of the search for added value in the new designs that appear in an increasingly competitive world. There are already research results that positively relate the use of creativity techniques such as TRIZ (Inventive Problem Solving Theory) with relational reasoning ability. That is why the use of an individual test (Test Of Relational Reasoning-TORR test) has been adopted where this capacity is measured through 4 main mechanisms of thought that allow detecting relationships between different sets of objects: analogy, anomaly, antinomy and antithesis. The objective of this study is twofold, on the one hand, to present a first analysis relating to 84 design engineering students in the 2020-2021 academic year and, on the other hand, to serve as a starting point for continuous monitoring of the relational reasoning of design engineering students.

Keywords: TORR; creativity; design engineering; relational reasoning.

CARACTERIZACIÓN DE LAS HABILIDADES DE RAZONAMIENTO RELACIONAL DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE DISEÑO

El uso de las técnicas de creatividad está cada vez más presente en la ingeniería de diseño, como consecuencia de la búsqueda de un valor añadido en los nuevos diseños que aparecen en un mundo cada vez más competitivo. Ya existen resultados de investigaciones que relacionan de forma positiva el uso de técnicas de creatividad como TRIZ (Teoría de resolución de problemas inventivos) con la capacidad de razonamiento relacional. Es por eso que se ha adoptado el uso de un test individual (Test Of Relational Reasoning- TORR test) donde se mide esta capacidad a través de 4 mecanismos principales de pensamiento que permiten detectar relaciones entre diferentes conjuntos de objetos: analogía, anomalía, antinomia y antítesis. El objetivo de este estudio es doble, por un lado, el de presentar un primer análisis relativo a 84 estudiantes de ingeniería de diseño del curso 2020-2021 y, por otro lado, servir de punto de partida para una monitorización continua del razonamiento relacional de los estudiantes de ingeniería de diseño.

Palabras clave: TORR; creatividad; ingeniería de diseño; razonamiento relacional.

Correspondencia: Dr. Juan David Cano-Moreno. Correo: juandavid.cano@upm.es

Agradecimientos: A tod@s los alumn@s de la asignatura "Metodología del diseño y la creatividad" del curso 2020-2021.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

La creatividad es una competencia transversal que se ha ido imponiendo en los últimos años como una de las principales competencias que deben tener los estudiantes de ingeniería. De hecho está incluida en la mayoría de los rankings como una de las 10 competencias que deben tener los ingenieros e ingenieras del futuro (“These are the top 10 job skills of tomorrow – and how long it takes to learn them,” n.d.).

En la literatura reciente destaca un número creciente de artículos manifestando su inclusión en enseñanzas técnicas como una competencia transversal o “soft skill”. Así, Wesolowski (Wesołowski, 2022) destaca la relevancia de las competencias transversales en Europa en la educación de ingeniería arquitectónica. Del mismo modo, Ghoniem y Ghoniem (Ghoniem and Ghoniem, 2022), introducen la creatividad en la ingeniería estructural. También se ha incluido esta competencia en la ingeniería informática (W. Groeneveld et al., 2021). Es un largo número los ejemplos existentes en la literatura reciente de la inclusión de la creatividad en los grados de ciencias e ingenierías. Martínez et al. (Higuera Martínez et al., 2021) publicaron una revisión sistemática con 185 referencias donde se muestra el gran auge y consenso mundial que está teniendo la inclusión de la creatividad en los estudios más técnicos. Sus resultados, muestran la creatividad como una habilidad esencial en el proceso de diseño, especialmente para alcanzar en el bienestar en la humanidad a través de soluciones innovadoras y de alto impacto.

Por esta razón, el uso de las técnicas de creatividad está cada vez más presente en todos los estudios de ingeniería. En concreto, en ingeniería de diseño, es uno de los pilares de trabajo para catalizar la búsqueda de un valor añadido en los nuevos diseños que aparecen en un mundo cada vez más competitivo.

Por otro lado, en la búsqueda de predecir las destrezas profesionales y las formas de pensamiento humanas, está el razonamiento relacional, que puede definirse como la habilidad de discernir patrones significativos ante cualquier flujo de información (Alexander and The Disciplined Reading and Learning Research Laboratory, 2012; Bassok et al., 2012). Otros autores, como Kalra y Richland (Kalra and Richland, 2022), indican que el pensamiento relacional es la base para otras habilidades cognitivas superiores como el lenguaje y el pensamiento analógico. Además, destacan que es crucial para la educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (en inglés, se resumen con el acrónimo STEM). El pensamiento relacional ha sido asociado empíricamente a logros académicos en varios dominios, entre ellos, la ingeniería (Hernandez et al., 2013; Grześ et al., 2014; Dumas et al., 2016; Dumas, 2017). Este pensamiento se aplica a multitud de dominio académicos y tareas cognitivas (Richland and McDonough, 2010), lo que lo hace transversal.

Ya existen resultados de investigaciones (Dumas and Schmidt, 2015) que relacionan de forma positiva el uso de técnicas de creatividad con la capacidad de razonamiento relacional. Esta relación la obtuvieron para estudiantes formados en TRIZ (Altshuller, 2002, 1997; Arcidiacono and Bucciarelli, 2016), acrónimo ruso que se puede traducir como “Teoría de resolución de problemas inventivos”. En este estudio, Dumas y Schmidt, adoptaron el uso de un test individual (Test Of Relational Reasoning- TORR test) donde se mide esta capacidad a través de 4 mecanismos principales de pensamiento que permiten detectar relaciones entre diferentes conjuntos de objetos: analogía, anomalía, antinomia y antítesis. En particular, este estudio demuestra una relación positiva entre el éxito en el proceso de generación de ideas y la puntuación del test de razonamiento relacional desarrollado por ellos.

Sin embargo, aún no se ha relacionado los resultados de esta clasificación de pensamiento, el pensamiento relacional, con el resultado de tareas más complejas, como las que puedan exigirse en la formación de un ingeniero de diseño. En estas tareas, aunque se emplea la

creatividad en muchas de ellas, el resultado suele requerir el uso de más metodologías y herramientas.

Como primer paso para lograr establecer esta relación se ha realizado este test a un total de 84 estudiantes de ingeniería de diseño de la *Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial* de la Universidad Politécnica de Madrid durante el curso 2020-2021 para analizar y así conocer las características presentes entre estos estudiantes desde el punto de vista del razonamiento por analogía, anomalía, antinomia y antítesis.

2. Materiales y métodos

Dumas y Schmidt (Dumas and Alexander, 2015; Dumas and Schmidt, 2015) desarrollaron un test (TORR) para la valoración de cuatro vertientes del pensamiento relacional. Este test, facilitado por uno de los autores, se describirá en mayor detalle a lo largo de este apartado. A los estudiantes se les dieron estas pautas para la realización del test:

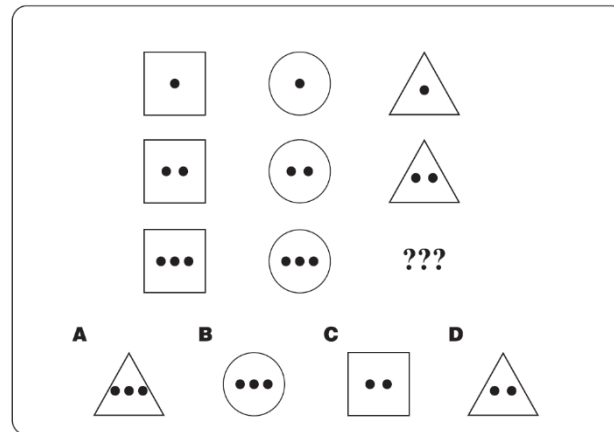
- Realizar de forma continua, sin pausas
- Menos de una hora
- Tratamiento anónimo de los resultados
- ¿Qué mide este test?
 - **Analogía**, relaciones similares
 - **Anomalía**, discrepancias
 - **Antinomia**, incompatibilidades
 - **Antítesis**, conceptos opuestos

Para cada uno de estos cuatro aspectos, hay 8 preguntas (32 en total). No hay límite de tiempo, pero se considera que puede hacerse en menos de una hora. A continuación, se pone un ejemplo de cada uno de estos tipos de pregunta. Las respuestas se indicarán al final de los ejemplos.

Primer grupo.

Hay que seleccionar la opción que completaría el patrón. Ver Figura 1.

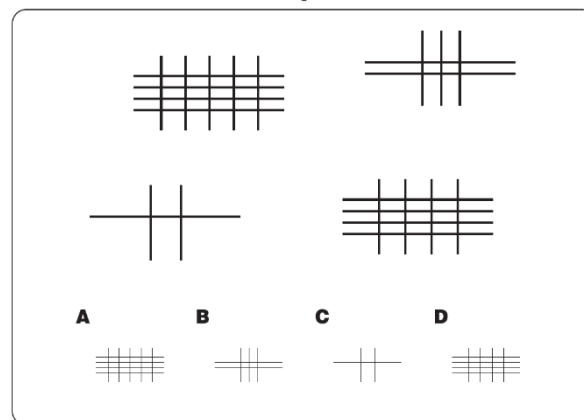
Figura 1: Ejemplo de pregunta del grupo de Analogía



Segundo grupo.

Hay que seleccionar la opción que NO sigue el patrón. Ver Figura 2.

Figura 2: Ejemplo de pregunta del grupo de Anomalía



Tercer grupo.

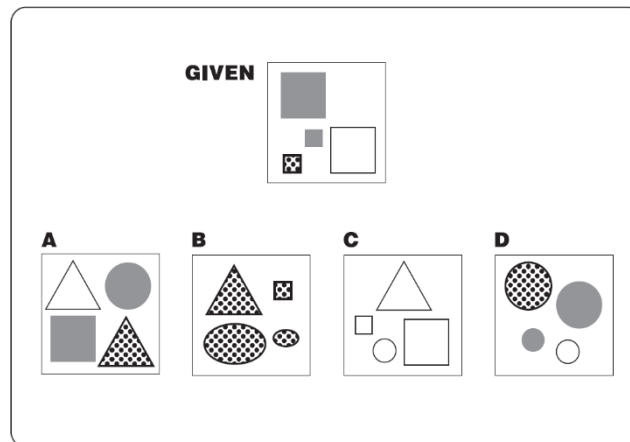
Hay que comparar conjuntos de objetos que varían en algunas características.

Cada grupo tiene una regla específica que decide qué objetos están incluidos en ese grupo. Algunos objetos incluidos en cada grupo tienen algún relleno, suficientemente para permitir determinar su regla de inclusión.

En cada pregunta hay que identificar cuál de los 4 grupos mostrados NUNCA podría tener un objeto en común con el grupo dado (GIVEN), basándote en la compatibilidad de sus reglas de inclusión.

Solamente habrá UNO incompatible. Ver Figura 3.

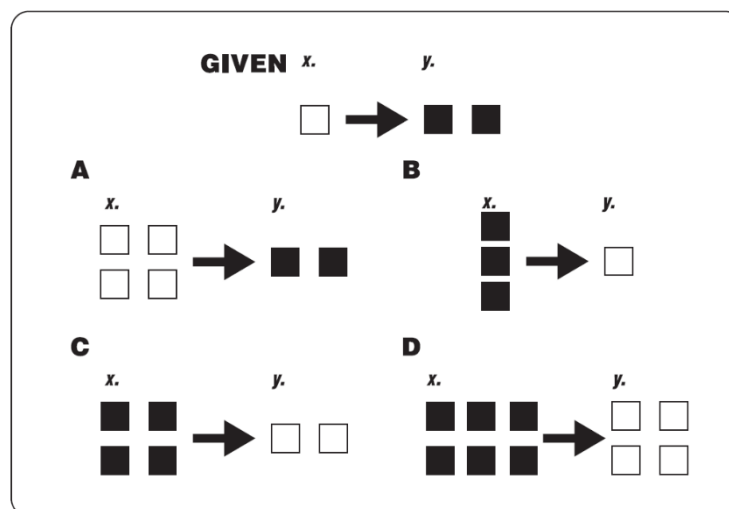
Figura 3: Ejemplo de pregunta del grupo de Antinomia



Cuarto grupo

La siguiente figura muestra un proceso en el que X se convierte en Y. En la figura, la flecha representa la regla por la cual ocurre el cambio. Seleccione la respuesta que muestra lo CONTRARIO del proceso dado. Ver Figura 4.

Figura 4: Ejemplo de pregunta del grupo de Antítesis



Las soluciones, por si algún lector ha querido pensarlas se pueden encontrar al final del apartado de Resultados.

3. Resultados

La puntuación relativa del test, en función de cada una de las 4 partes se recoge en la Tabla 1. También se recogen las estadísticas de la puntuación global. Como se puede observar la

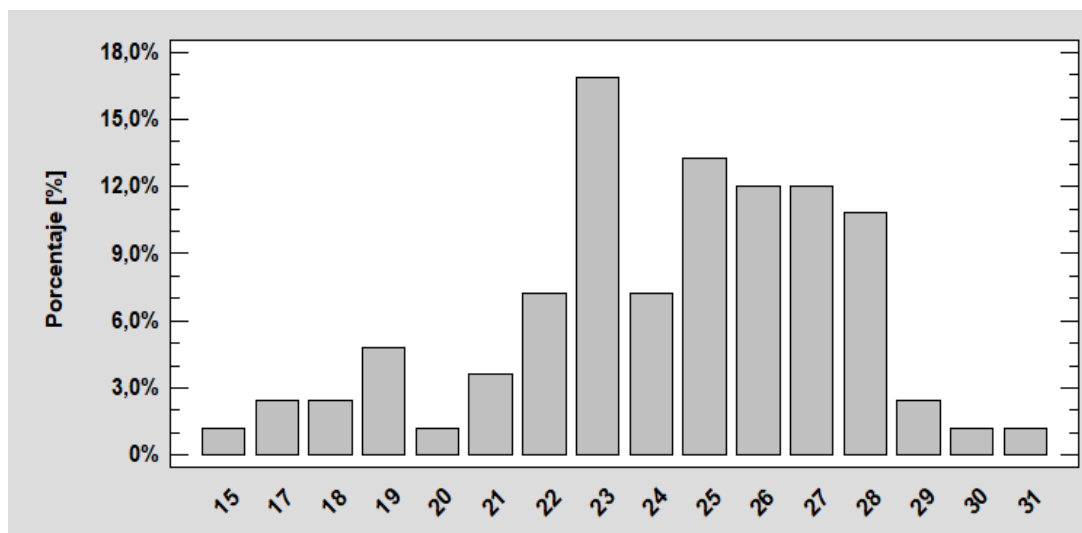
capacidad más destacada es la analogía seguida de la antinomia, bajando en la anomalía y, por último, la antítesis.

Tabla 1: Resultados parciales y total del Test de TORR

Estadístico	Analogía	Anomalía	Antítesis	Antinomia	TOTAL
Media	6,98	5,9	5,05	6,14	24.1
Moda	8	7	5	6	23
Desviación típica	1,35	1,53	1,34	1,34	3.65

En la Tabla 1, también se tiene la puntuación global del test con 24.1 de puntuación media y una desviación típica de casi 3.65 puntos. La moda, 23, se observa también en la Figura 5, dónde se muestra el reparto relativo de puntuaciones. Se observa que la mayoría se encuentra por encima de ese valor moda. Cabe destacar que, de los 85 estudiantes, dos realizaron el test mal (uno lo hizo de forma aleatoria sacando un 8 y el otro no lo hizo).

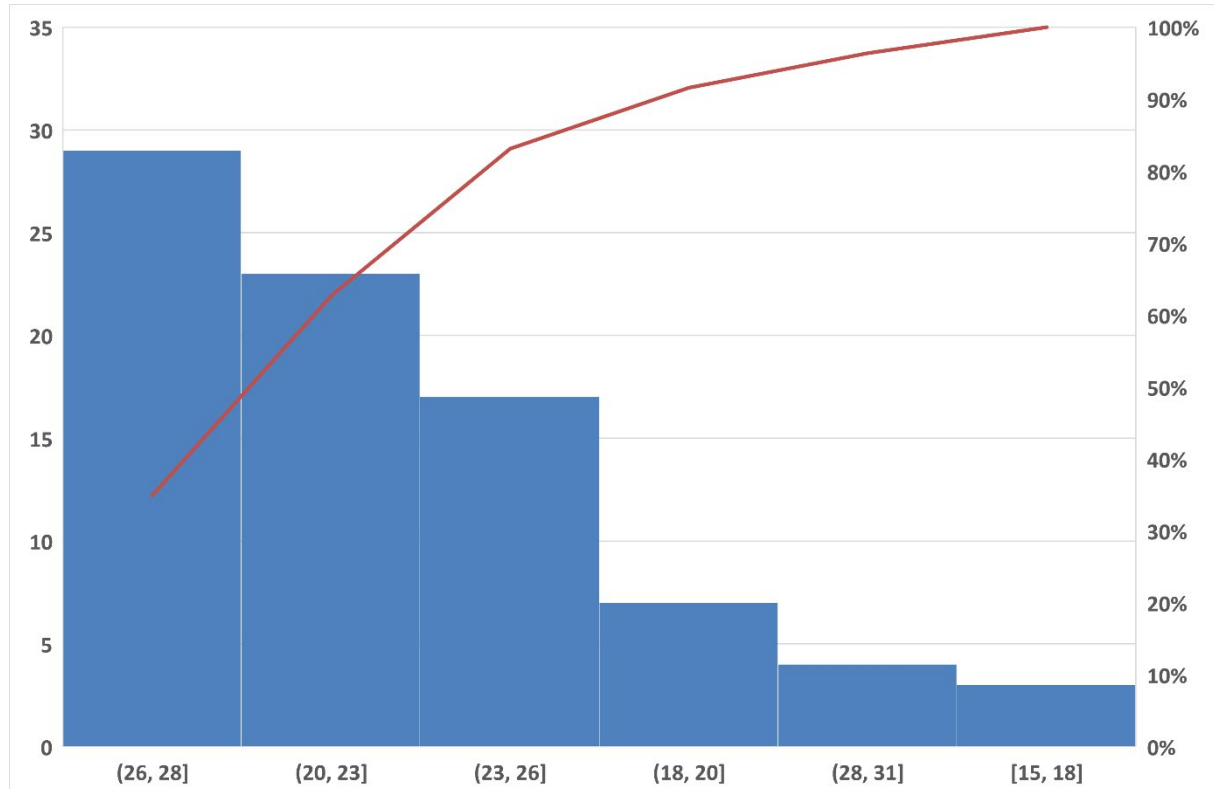
Figura 5: Frecuencia relativa de la puntuación total del test de TORR



Otra forma de verlo, por porcentajes acumulados según los valores más frecuentes, se muestra en la Figura 6. Cabe destacar que se eliminaron las respuestas de dos estudiantes por no completar adecuadamente el test (una con puntuación nula y otra con puntuación 8). En esta

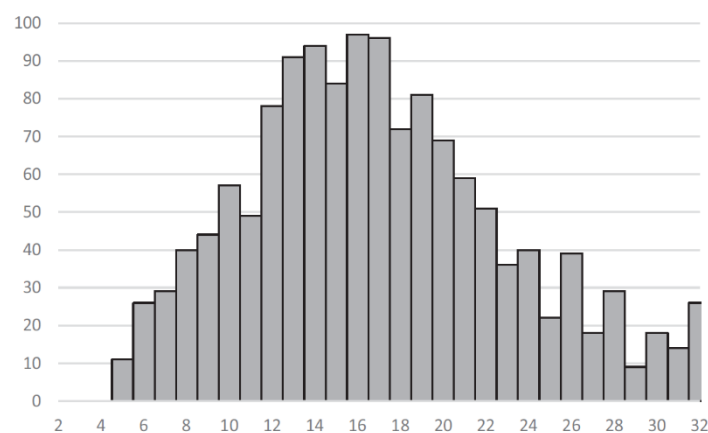
figura se observa que más del 75% de los estudiantes poseen una nota del test mayor que 23.

Figura 6: Frecuencia relativa de la puntuación total del test de TORR



Si comparamos estos datos con otros publicados (Dumas and Alexander, 2015), donde obtienen la distribución de la Figura 7, se observa que la población estudiada presenta una elevada puntuación en cuanto al pensamiento de razonamiento relacional se refiere, ya que el valor medio es unos 7 puntos mayor que en este (16.98).

Figura 7: Frecuencia relativa del test de TORR (Dumas and Alexander, 2015)



Siguiendo la comparativa con el resultado del estudio de Dumas de la gráfica anterior, realizado a 1379 personas representando la población completa de estudiantes universitarios

de distintos ámbitos (solo un 15.52% de ingeniería), los valores relativos en reparto de los 4 tipos de pensamiento que mide el test, tampoco coinciden, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Porcentaje de aciertos parciales del test de TORR

Población estudiada	Analogía	Anomalía	Antítesis	Antinomia
Ingenieros de Diseño	29,0%	24,5%	21,0%	25,5%
Población universitaria (Dumas and Alexander, 2015)	22,9%	24,9%	25,8%	26,4%

Aunque los resultados absolutos superan en general los medios obtenidos por Dumas y Alexander entre la población universitaria, se observa en esta tabla que el reparto relativo de destrezas según estos 4 tipos de pensamiento relacional se reparte de forma algo diferente también.

Finalmente, por si algún lector ha intentado resolver las preguntas ejemplos del test aquí formuladas, las respuestas correctas son las siguientes: A, D, D y C.

4. Conclusiones

En este estudio se ha caracterizado el pensamiento relacional de un total de 83 estudiantes (2 Test fueron considerados nulos) de ingeniería de diseño. Este análisis permite clasificar la destreza de estos estudiantes en cuatro vertientes principales: Analogía, Anomalía, Antítesis y Antinomia. Aunque el reparto es bastante equilibrado, se puede decir su pensamiento relacional está compuesto por un 29% de analogía, un 24.5% de anomalía, un 21% de antítesis y un 25.5% de antinomia. Estos resultados suponen una asimetría que favorece detectar relaciones similares, frente a la existencia de incompatibilidades en un análisis de problemas.

En consecuencia, se puede aprovechar este conocimiento para el uso de técnicas de creatividad basadas en analogías (Goldschmidt, 2001; Moreno et al., 2014) o inspiradas en similitudes con heurísticas de diseño (Daly, 2012; Daly et al., 2012). En esta línea, TRIZ10 (Cano-Moreno et al., 2021) emplea principios inventivos que, aunque cada uno agrupa una o varias heurísticas de diseño, se usan similitudes con sus diez principios inventivos para la generación de ideas.

Los resultados muestran una elevada puntuación global del test respecto de otros estudios realizados (Dumas and Alexander, 2015), lo que favorecerá en un futuro la competitividad de los alumnos de estas titulaciones relacionadas con ingeniería de diseño (“Grado en ingeniería en diseño industrial y desarrollo de producto” y “Doble grado en ingeniería en diseño industrial y desarrollo de producto y en ingeniería mecánica”).

Como trabajos futuros, se pretende analizar la influencia de estos cuatro modos de pensamiento relacional con el éxito de los estudiantes en las distintas tareas de la asignatura

Metodología del diseño y la creatividad. También se analizará la evolución de las 4 vertientes del pensamiento relacional en los estudiantes de ingeniería de diseño.

5. Referencias

- Alexander, P.A., The Disciplined Reading and Learning Research Laboratory, 2012. Reading Into the Future: Competence for the 21st Century. *Educational Psychologist* 47 4 , 259–280. doi:10.1080/00461520.2012.722511
- Altshuller, G., 2002. 40 Principles: TRIZ Keys to Innovation. Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller, G., 1997. Introducción A La Innovación Sistemática: TRIZ. De Pronto, Apareció El Inventor. Paterna.
- Arcidiacono, G., Bucciarelli, L., 2016. TRIZ: Engineering Methodologies to Improve the Process Reliability. *Quality and Reliability Engineering International* 32 7 , 2537–2547. doi:10.1002/qre.1955
- Bassok, M., Dunbar, K.N., Holyoak, K.J., 2012. Introduction to the special section on the neural substrate of analogical reasoning and metaphor comprehension. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 38 2 , 261–263. doi:10.1037/a0026043
- Cano-Moreno, J.D., Arenas Reina, J.M., Sánchez Martínez, F.V., Cabanellas Becerra, J.M., 2021. Using TRIZ10 for enhancing creativity in engineering design education. *International Journal of Technology and Design Education*. doi:10.1007/s10798-021-09704-3
- Daly, S., 2012. Assessing design heuristics in idea generation within an introductory engineering design course. *International Journal of Engineering Education* 28, 463–473.
- Daly, S.R., Yilmaz, S., Christian, J.L., Seifert, C.M., Gonzalez, R., 2012. Design Heuristics in Engineering Concept Generation. *Journal of Engineering Education* 101 4 , 601–629. doi:10.1002/j.2168-9830.2012.tb01121.x
- Dumas, D., 2017. Relational Reasoning in Science, Medicine, and Engineering. *Educational Psychology Review* 29 1 , 73–95. doi:10.1007/s10648-016-9370-6
- Dumas, D., Alexander, P., 2015. Calibration of the Test of Relational Reasoning. *Psychological Assessment* 28. doi:10.1037/pas0000267
- Dumas, D., Schmidt, L., 2015. Relational reasoning as predictor for engineering ideation success using TRIZ. *Journal of Engineering Design* 26 1–3 , 74–88. doi:10.1080/09544828.2015.1020287
- Dumas, D., Schmidt, L.C., Alexander, P.A., 2016. Predicting creative problem solving in engineering design. *Thinking Skills and Creativity* 21, 50–66. doi:10.1016/j.tsc.2016.05.002
- Ghoniem, A., Ghoniem, E., 2022. Inducing competence-based assignment in traditional structural engineering education: A case study. *Computer Applications in Engineering Education* 30 3 , 907–916. doi:10.1002/cae.22493
- Goldschmidt, G., 2001. Visual Analogy -a Strategy for Design Reasoning and Learning. *Visual Databases in Architecture: Recent Advances in Design and Decision Making*. doi:10.1016/B978-008043868-9/50009-7
- Grześ, M., Hoey, J., Khan, S.S., Mihailidis, A., Czarnuch, S., Jackson, D., Monk, A., 2014. Relational approach to knowledge engineering for POMDP-based assistance systems as a translation of a psychological model. *International Journal of Approximate Reasoning* 55 1, Part 1 , 36–58. doi:10.1016/j.ijar.2013.03.006
- Hernandez, N.V., Schmidt, L.C., Okudan, G.E., 2013. Systematic Ideation Effectiveness Study of TRIZ. *Journal of Mechanical Design* 135 10 . doi:10.1115/1.4024976

- Higuera Martínez, O.I., Fernández-Samacá, L., Serrano Cárdenas, L.F., 2021. Trends and opportunities by fostering creativity in science and engineering: a systematic review. null 46 6 , 1117–1140. doi:10.1080/03043797.2021.1974350
- Kalra, P.B., Richland, L.E., 2022. Relational Reasoning: A Foundation for Higher Cognition Based on Abstraction. Mind, Brain, and Education n/a n/a . doi:10.1111/mbe.12323
- Moreno, D.P., Hernández, A.A., Yang, M.C., Otto, K.N., Hölttä-Otto, K., Linsey, J.S., Wood, K.L., Linden, A., 2014. Fundamental studies in Design-by-Analogy: A focus on domain-knowledge experts and applications to transactional design problems. Design Studies 35 3 , 232–272. doi:10.1016/j.destud.2013.11.002
- Richland, L.E., McDonough, I.M., 2010. Learning by analogy: Discriminating between potential analogs. Contemporary Educational Psychology 35 1 , 28–43. doi:10.1016/j.cedpsych.2009.09.001
- These are the top 10 job skills of tomorrow – and how long it takes to learn them [WWW Document], n.d. . World Economic Forum. URL <https://www.weforum.org/agenda/2020/10/top-10-work-skills-of-tomorrow-how-long-it-takes-to-learn-them/> (accessed 2.16.22).
- W. Groeneveld, L. Luyten, J. Vennekens, K. Aerts, 2021. Exploring the Role of Creativity in Software Engineering, in: 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society (ICSE-SEIS). Presented at the 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society (ICSE-SEIS), pp. 1–9. doi:10.1109/ICSE-SEIS52602.2021.00009
- Wesołowski, P., 2022. Enhancing architectural engineering students' acquisition of artistic technical competences and soft skills. Cogent Arts & Humanities 9 1 , 2043997. doi:10.1080/23311983.2022.2043997

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

