

## Evaluar la creatividad con prototipos. Métricas basadas en objetivos.

Ignacio López-Forniés (\*)

*Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Universidad de Zaragoza*

Actas de Diseño (2022, octubre),  
Vol. 41, pp. 374-377. ISSN 1850-2032.  
Fecha de recepción: julio 2021  
Fecha de aceptación: marzo 2022  
Versión final: octubre 2022

**Resumen:** Los prototipos son artefactos que representan ideas y que permiten validar conceptos por su funcionamiento. Su diseño y construcción los convierte en una herramienta de medición de los resultados basados en objetivos, obteniendo logros más o menos satisfactorios en relación al diseño, la construcción, la experimentación y la optimización. La medida de la creatividad es compleja y subjetiva, incluso aplicando métricas contrastadas queda incertidumbre sobre la validez de la medida. La experiencia propone diseñar y construir un prototipo para participar en una competición. Los resultados se miden de manera precisa y mediante una métrica basada en objetivos que discrimina las notas de manera objetiva.

**Palabras clave:** Métricas de Creatividad – Métricas Basadas en Objetivos (MBO) – Evaluación de la Creatividad – Prototipos – Validación de Conceptos.

[Resúmenes en inglés y portugués y currículum en p. 377]

### 1. Introducción

El artefacto o prototipo, es una representación de una idea con la que se pueden discutir, cambiar y negociar características de los conceptos representados (Rodríguez-Calero, Coulentianos, Daly, Burrigge, & Sienko, 2020), convirtiéndose en una herramienta de aprendizaje. Tim Brown (2008), relaciona diseño, juego y prototipado, afirma que el juego consigue mejoras: soluciones más creativas, un mejor diseño y buen estado de ánimo en el trabajo. Los prototipos permiten "pensar con las manos" para experimentar rápidamente. El prototipo reduce la incertidumbre, no ofrece una solución final, pero demuestra la utilidad y la factibilidad de la idea.

Aprender con prototipos permite aplicar metodologías "Aprender haciendo" y "Aprendizaje Basado en Proyectos" (ABP), existiendo un encuentro entre ambas y siendo complementarias (Jamali, Md Zain, Samsudin, & Ale Ebrahim, 2017). La metodología ABP puede desarrollar el vínculo afectivo del estudiante hacia la creatividad, incluyendo la curiosidad, la imaginación y el desafío. El trabajo con prototipos experimenta con la creatividad y el método científico de prueba y error, y experimenta con el diseño y la ingeniería, por la resolución de problemas, el diseño estructural, el pensamiento racional y creativo, la modelización, la representación gráfica y la aplicación de cálculos sencillos sobre principios físicos (Lou, Chou, Shih, & Chung, 2017).

La competición creativa necesita definir unos objetivos de diseño y una actividad a medida ya que hay que encontrar un equilibrio entre aprendizaje y resultados. El aprendizaje por medio de la competición desarrolla competencias muy valoradas en los diseñadores como la colaboración, la cocreación, la resolución de problemas, la creatividad y la comunicación (Plass, Homer, & Kinzer, 2014).

En las actividades de aprendizaje basadas en competiciones creativas por la satisfacción de objetivos el participante diseña y fabrica su instrumento de participación.

Algunos ejemplos son competiciones de robots luchadores (Culler & Long, 2016), diseño de camiones para probar el uso de rodamientos (Aguilar Martín & Santo Domingo, 2018), aviones planeadores para aprender estadística (Ruiz Sánchez, 2020) o para comprender procesos de dinámica de fluidos (RedBull, 2018), carreras de robots seguidores de línea (OSHWDem, 2019), entre otras.

Competir mejor, depende de la efectividad del prototipo, de las mejoras por el aprendizaje en las pruebas, de la preparación para la competición y de las habilidades del participante, ya que las condiciones de partida son iguales para todos. La competición convierte al prototipo en un modelo editable (Lennings, Broek, Horváth, Sleijffers, & De Smit, 2000) que hay que ajustar aprendiendo sobre optimización y mejora de su participación. El aprendizaje basado en la competición con prototipos provee de un lugar seguro para fallar y aprender, establecer retos a los participantes y proveerles de retroalimentación inmediata, incluyendo la socialización como estímulo adicional (Hertz, 2013).

Las métricas tradicionales que miden novedad y utilidad no son suficientes para evaluar la creatividad aplicada. Es necesario crear métricas basadas en objetivos medibles y cuantificables en vez de utilizar métricas que satisfacen condiciones. Las métricas basadas en objetivos son más precisas, justas y adecuadas al resultado de aprendizaje buscado. Habitualmente para evaluar la creatividad se utilizan métricas clásicas que incluyen las dimensiones: Novel, Useful and Feasible (NUF) (Kudrowitz & Wallace, 2013); o bien métricas diseñadas a medida para evaluar dimensiones basadas en el logro de objetivos (López-Forniés, Sierra-Pérez, Boschmonart-Rives, & Gabarrell, 2017; Shute & Rahimi, 2021). La evaluación de la creatividad se vincula a la dimensión novedad y la evaluación del prototipo se vincula a la utilidad y factibilidad.

## 2. Desarrollo de la experiencia y objetivos

La experiencia es un concurso de diseño dentro de la asignatura creatividad, con 73 participantes. Los estudiantes reciben un enunciado con los objetivos y los requisitos de la competición, se debe diseñar y construir un prototipo para recolectar 50 canicas, que simulan un sistema de partículas, a contrarreloj y en un ring cerrado con una zona de recolección delimitada. Definen soluciones al problema, bocetando una representación visual que define la construcción de un prototipo y el funcionamiento del artefacto. La competición tiene dos rondas, la primera con un tiempo limitado de 30 segundos para obtener el máximo número de canicas. En la segunda se mide el tiempo máximo utilizado para recolectar todas las canicas, 50 unidades, 15 grandes (diámetro de 25 mm) y 35 pequeñas (diámetro de 16 mm), con un límite de 5 minutos.

Los objetivos son: (1) Recolectar las 50 canicas antes del cumplimiento de los 5 minutos (2) Maximizar el número de bolas en 30" (primera medición) (3) Minimizar el tiempo en la recogida de las 50 canicas (segunda medición) y (4) Minimizar número de piezas y el uso de material.

Además, se plantean una serie de requisitos o limitaciones para que la competición sea justa y en igualdad de condiciones, estos son: (1) El funcionamiento debe ser exclusivamente manual y mecánico, (2) no se permiten motores o dispositivos eléctricos y (3) no se pueden utilizar sistemas de aspiración. Las canicas se disponen en un ring cuadrangular de 660x660x150 mm, sobre una mesa de 700mm de altura. Solo son válidas las canicas recolectadas en una zona delimitada que puede ser circular o cuadrangular de 400x400 mm máximo. El dispositivo solo puede ser actuado por una persona y con una sola mano. El diseño debe ser robusto y resistente durante la competición ya que hay una penalización por no alcanzar los objetivos o por la rotura del prototipo. De manera deliberada no se permite el uso de técnicas de prototipado rápido típicas de un fablab y es obligatorio construir el prototipo de manera manual, con materiales reciclados preferiblemente y con herramientas de mano.

Se instruye a los alumnos sobre la construcción de prototipos sencillos. Los participantes visualizan una serie de videos de YouTube de cómo realizar sencillas trampas caseras de caza, con materiales reciclados y aplicando principios muy básicos de física. Los videos (Imaginative Guy, 2018) tienen como objetivo estimular la creatividad y el ingenio, y mostrar lo fácil que es realizar una trampa efectiva simplemente aplicando el pensamiento creativo. Académicamente aprenden el potencial de la construcción y testeo de prototipos iniciándose en la metodología ensayo-error, mejorando sus prototipos y corrigiendo por la experimentación y la observación (Brown, 2008). Los estudiantes practican el pensamiento creativo sobre conceptos de física y materiales.

## 3. Prototipos

El diseño de prototipos aplica el Diseño Centrado en la Evidencia (Evidence-Centered Design) (Mislevy, Almond, & Lukas, 2003; Zhao, Shute, & Wang, 2015) para validar la solución creativa. Las dimensiones medidas

por las métricas permiten comparar los resultados de la competición y evaluar la consecución de los objetivos. Al construir el prototipo se aplica la abstracción tridimensional, el mecanismo pasa de la imagen mental al artefacto. La creatividad transforma la idea en la construcción y optimización de un objeto. Este ejercicio de construcción sirve para detectar errores de tipo: ergonómicos por el volumen, el peso o la manejabilidad; estructurales por ser demasiado débiles que se rompen; por el rendimiento en el funcionamiento lento, no válido o poco efectivo; o por sus acabados con piezas mal diseñadas que dificultan la operatividad y la funcionalidad.

Algunas ideas pasan fácilmente de la imagen mental al dibujo en 2D, para dimensionar y seleccionar materiales y después a la construcción en 3D. La experimentación con diferentes versiones del prototipo se recomienda a todos los participantes, los que así lo hacen y utilizan materiales reciclados como cartón, envases reciclados, etc. pueden tener más opciones de hacer versiones y editarlas. Sin embargo, aquellos que reutilizan piezas recuperadas, únicas o difíciles de transformar se ven forzados a una única tentativa con dificultades para implementar mejoras o editar lo ya realizado.

## 4. Las Métricas Basadas en Objetivos MBO

Habitualmente la creatividad se evalúa con métricas clásicas que incluyen las dimensiones novedad, utilidad y factibilidad (NUF) (Kudrowitz & Wallace, 2013) que se asocian al cumplimiento de una o varias condiciones en escalas Likert de 4 o 5 puntos. Sin embargo, estas métricas tienen baja precisión por lo que es necesario diseñar métricas a medida para evaluar dimensiones basadas en el logro de objetivos (López-Forniés et al., 2017; Shute & Rahimi, 2021). La evaluación de la creatividad se vincula a la dimensión novedad y la evaluación del prototipo se vincula con utilidad y factibilidad.

En esta experiencia se puede medir la novedad por la diferenciación conceptual, por el número de coincidencias conceptuales. Si un concepto es único consigue la mejor puntuación, a medida que hay dos, tres, cuatro, etc. repeticiones se obtiene peor puntuación. Se puede poner un límite de coincidencias, por encima del cual no se consideran conceptos creativos y se consideran no aptos, que se puede considerar como factor de similitud. Sin embargo, se ha prescindido de esta dimensión, centrándolo la métrica tan solo en los objetivos.

Para la evaluación por objetivos se introducen condicionantes medibles de manera precisa, respecto al número de bolas y el tiempo, por lo que se utilizan las funciones estadísticas denominadas cuartiles y percentiles. Siendo el primer objetivo Oq1, si el prototipo recolecta todas las piezas en menos de 5 minutos, se considera solo apto (1) o no apto (0) y su valor numérico está en los extremos. El segundo objetivo Oq2, si el prototipo en los primeros 30 segundos recolecta más bolas del tercer cuartil para obtener la mejor calificación, menor del tercer cuartil y mayor que el primero para obtener la calificación intermedia, y menor que el primer cuartil para la peor calificación.

El tercer objetivo Oq3, si el prototipo recolecta todas las canicas en menos del primer cuartil del recuento en segundos para obtener la mejor calificación; mayor al primer cuartil pero inferior al tercero para la calificación intermedia y superior al tercer cuartil para la peor calificación. Y finalmente para el cuarto objetivo Oq4, si el prototipo utiliza menos del primer cuartil del número de piezas para obtener la mejor calificación. Mayor al primer cuartil pero inferior al tercero para la calificación intermedia y superior al tercero para la peor calificación.

El percentil O1p que se considera solo apto (1) o no apto (0) y su valor numérico está en los extremos. Y los percentiles, O2p, O3p y O4p el valor en tanto por uno de la posición que le corresponde. Siendo el valor directo en O2p por ser maximización de canicas recolectadas y (1-O3p) y (1-O4p) por ser de minimización de tiempo y número de piezas.

La métrica se representa por el producto del objetivo 1 por el sumatorio de los objetivos 2, 3 y 4, dividido entre 3, según las fórmulas en función de los percentiles (a) o los cuartiles (b):

$$MBOp = 10 \cdot Op1 \cdot (Op2 + Op3 + Op4) / 3 \text{ (a)}$$

$$MBOq = 10 \cdot Oq1 \cdot (Oq2 + Oq3 + Oq4) / 3 \text{ (b)}$$

Además, podemos utilizar la evaluación con cuartiles para discriminar en un rango de 0 a 3 como si fuera una escala de 4 puntos, pudiendo alcanzar un máximo de 10 puntos. Siendo apto si obtiene 1 o más en cada uno de los objetivos.

## 5. Resultados y Discusión

Participaron 73 estudiantes, trabajando en parejas y alguno de manera individual, construyendo 37 prototipos. Alumnos de segundo curso del grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, en la asignatura Taller de Diseño III: Creatividad, de la Universidad de Zaragoza. En esta experiencia se introducen dimensiones que se pueden medir de manera precisa y evaluarlas utilizando funciones estadísticas. Se hace una clasificación para ambas dimensiones y se obtiene la distribución de percentiles y cuartiles, asignado las notas en base a esta distribución. Para superar el ejercicio creativo se debe cumplir una primera condición, recolectar las bolas en menos de 300" (tan solo los casos 6, 11 y 36 no lo han conseguido, fracaso inferior al 4%).

En base a los resultados numéricos, se observa que la precisión de las dos mediciones discrimina bien cada uno de los objetivos a cumplir tanto con percentiles como con cuartiles. La valoración con percentiles tiene un rango más amplio [1,9 - 9,5] y con una mayor precisión que con cuartiles [3,3 - 7,5].

Analizando algunos datos, vemos que el caso 11 al no recolectar las canicas en 5 minutos es no apto en el objetivo 1 y por tanto en el 3 debiendo repetir la prueba. El caso 10, obtiene 1, 2, 3, y 3 en la escala de cuatro puntos, 8,3 en percentiles y 6,7 en cuartiles. El caso 15, obtiene 1, 3, 3 y 2 por puntos, 8,8 en percentiles y 6,7 con cuartiles. El caso 16, obtiene 1, 3, 3 y 2 por puntos, 7,8 en percentiles y 6,7 con cuartiles. Se observa que los tres suman 9 de

un máximo de 10 puntos, estando igualados pero los percentiles indican que uno casi alcanza los 9 puntos, otro está por encima de los 8 puntos y el otro no y los cuartiles coinciden, pero se quedan muy por debajo de la nota. Podemos decir que la escala por objetivos de 0 a 3 es válida, aunque imprecisa y que beneficia al alumno ya que al superar con un mínimo los objetivos ya se alcanza la nota de 5 puntos; que la escala de percentiles es la más justa y precisa al discriminar mejor las notas; y que la escala de cuartiles no es precisa ni justa.

La necesidad de crear métricas a medida es evidente, ya que cada experiencia es distinta y la evaluación también debe serlo para validar la efectividad de la métrica (Takai, Esterman, & Midha, 2015).

Hay grupos de estudiantes que tienen claro cómo solucionar su diseño con un único concepto, mientras que otros estudiaron varias alternativas antes de la construcción. La recomendación a los participantes en las diferentes experiencias siempre ha sido la de buscar alternativas y validarlas con pruebas de artefactos. Sin embargo, hay participantes que se lo han jugado todo a una sola opción, si la idea intuitiva funciona la dan por válida, eludiendo mejorar gracias a los intentos fallidos (Matson, 1996), por lo que han dejado de aprender esta lección.

Se nota la diferencia entre los que han experimentado con un solo prototipo y los que han construido varios haciendo pruebas y optimizándolos para mejorar los tiempos, el número de piezas o la operatividad. Los participantes que toman decisiones rápidamente y fallan tienen más opciones de aprender de sus errores y de estimular la creatividad (Tahirsylaj, 2012), los que prueban varias soluciones conceptuales pueden comparar el rendimiento y decidir en base a resultados y no a una intuición.

## 6. Conclusiones

El aprendizaje por medio de prototipos es una manera de defender una idea y de evidenciar el funcionamiento, lo que permite al estudiante y profesor dialogar sobre el diseño, reforzando el aprendizaje y permitiendo mejorar el diseño corrigiendo los errores encontrados en las pruebas realizadas. Además, la competición permite incluir el factor estrés que se genera al tener que participar obteniendo una marca propia con su prototipo y el factor lúdico que camufla el aprendizaje en la competición ya que los participantes se olvidan de la componente académica para centrarse en la participación.

La conclusión de esta experiencia es que el pensamiento creativo se desarrolla en la búsqueda de la solución de diseño y el pensamiento crítico permite mejorar el prototipo y sus resultados. Las métricas NUF son necesarias como condición inicial para superar el estado del arte, pero para evaluar la creatividad de manera justa y objetiva se deben utilizar métricas basadas en objetivos, medibles y cuantificables.

Las métricas basadas en objetivos pueden ser muy sencillas en escalas de 0 a 3 puntos o más elaboradas por cuartiles y percentiles, la primera se basa en la superación de un límite y las segundas en funciones estadísticas.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar Martín, J. J., & Santo Domingo, S. (2018). Premio "Reto INNOVA": Diseño y desarrollo de un camión miniatura. ["INNOVA Challenge" Award: Design and development of a miniature truck.]. Zaragoza. Retrieved from [https://eina.unizar.es/sites/eina.unizar.es/files/archivos/Calidad/innovaciondocente/viii\\_sibpd\\_eina\\_fersa.pdf](https://eina.unizar.es/sites/eina.unizar.es/files/archivos/Calidad/innovaciondocente/viii_sibpd_eina_fersa.pdf)
- Brown, T. (2008). *Tales of creativity and play*. USA: TED TALKS | SERIOUS PLAY 2008. Retrieved from [https://www.ted.com/talks/tim\\_brown\\_tales\\_of\\_creativity\\_and\\_play](https://www.ted.com/talks/tim_brown_tales_of_creativity_and_play)
- Culler, D., & Long, J. (2016). *A Prototype Smart Materials Warehouse Application Implemented Using Custom Mobile Robots and Open Source Vision Technology Developed Using EmguCV*. *Procedia Manufacturing*, 5, 1092–1106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2016.08.080>
- Hertz, M. B. (2013). *Games Can Make "Real Life" More Rewarding*. Retrieved from <https://www.edutopia.org/blog/games-make-real-life-rewarding-mary-beth-hertz>
- Imaginative Guy. (2018). *5 Easy Mouse/Rat Trap*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=EDqAcM9FQRs>
- Jamali, S. M., Md Zain, A. N., Samsudin, M. A., & Ale Ebrahim, N. (2017). *Self-efficacy, scientific reasoning, and learning achievement in the STEM project-based learning literature*. *The Journal of Nusantara Studies (JONUS)*, 2, 29–43.
- Kudrowitz, B. M., & Wallace, D. (2013). *Assessing the quality of ideas from prolific, early-stage product ideation*. *Journal of Engineering Design*, 24(2), 120–139. <https://doi.org/10.1080/09544828.2012.676633>
- Lennings, A. F., Broek, J. J., Horváth, I., Sleijffers, W., & De Smit, A. (2000). *Editable physical models for conceptual design*. In proceedings of the TMCE 2000 symposium (p. 10).
- López-Forniés, I., Sierra-Pérez, J., Boschmonart-Rives, J., & Gabarrell, X. (2017). *Metric for measuring the effectiveness of an eco-ideation process*. *Journal of Cleaner Production*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.138>
- Lou, S.-J., Chou, Y.-C., Shih, R.-C., & Chung, C.-C. (2017). *A study of creativity in CaC2 steamship-derived STEM project-based learning*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(6), 2387–2404.
- Matson, J. V. (1996). *Innovate or die : a personal perspective on the art of innovation*. Royal Oak, Mich.: Paradigm Press. Retrieved from <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/36548597.html>
- Mislevy, R. J., Almond, R. G., & Lukas, J. F. (2003). *A brief introduction to evidence-centered design*. ETS Research Report Series, 2003(1), i–29.
- OSHWDem. (2019). *Competición robots seguidores de líneas*. Retrieved from <https://oshwdem.org/2017/09/competicion-de-sigue-lineas-y-velocistas-2017/>
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2014). *Playful learning: An integrated design framework*. White Paper, 2, 2014.
- RedBull. (2018). RED BULL PAPER WINGS Competition. Retrieved from <https://paperwings.redbull.com/global-en/>
- Rodriguez-Calero, I. B., Coullentianos, M. J., Daly, S. R., Burrridge, J., & Sienko, K. H. (2020). *Prototyping strategies for stakeholder engagement during front-end design: Design practitioners' approaches in the medical device industry*. *Design Studies*, 71, 100977. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.destud.2020.100977>
- Ruiz Sánchez, S. (2020). *Una competición estadística entre aviones de papel*. [A statistical competition between paper airplanes.]. Retrieved from <http://www.seio.es/incubadora/UnaCompeticionEstadisticaEntreAvionesDePapel.pdf>
- Shute, V. J., & Rahimi, S. (2021). *Stealth assessment of creativity in a physics video game*. *Computers in Human Behavior*, 116, 106647. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106647>
- Takai, S., Esterman, M., & Midha, A. (2015). *An approach to study associations between design concepts and design outcomes*. *Journal of Mechanical Design*, 137(4).
- Zhao, W., Shute, V., & Wang, L. (2015). *Stealth assessment of problem-solving skills from gameplay*. *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)*, (15212).

**Abstract:** Prototypes are artifacts that represent ideas and that allow concepts to be validated by their operation. Their design and construction make them a tool for measuring results based on objectives; these obtain more or less satisfactory achievements in relation to design and construction, experimentation and optimization. The measure of creativity is complex and subjective, even applying proven metrics there may be uncertainty about the validity of the measure. The experience proposes designing and building a prototype to participate in a competition. Results are measured accurately and using a goal-based metric that objectively discriminates grades.

**Keywords:** Creativity Metrics - Goal-Based Metrics (MBO) - Creativity Evaluation - Prototyping - Concept Validation.

**Resumo:** Protótipos são artefatos que representam ideias e que permitem que conceitos sejam validados por seu funcionamento. O seu desenho e construção fazem deles um instrumento de medição de resultados com base em objetivos, estes obtêm resultados mais ou menos satisfatórios em relação ao projecto e construção, experimentação e optimização. A medida de criatividade é complexa e subjetiva, mesmo aplicando métricas comprovadas pode haver incerteza sobre a validade da medida. A experiência propõe projetar e construir um protótipo para participar de uma competição. Os resultados são medidos com precisão e usando uma métrica baseada em metas que discrimina objetivamente as notas.

**Palavras chave:** Métrica de Criatividade - Métrica Baseada em Metas (MBO) - Avaliação da Criatividade - Prototipagem - Validação de Conceito.

**(\*) Ignacio López-Forniés:** es profesor del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la Universidad de Zaragoza. Doctor por la Universidad de Zaragoza con una tesis basada en un modelo de diseño bioinspirado. Investigación y Docencia en las fases conceptuales de las metodologías de diseño de producto, donde la creatividad es un factor determinante. Investigación en medición de la creatividad para la innovación de manera genérica y aplicada a ecoideación y aspectos medioambientales. La investigación se ve reforzada por la línea de diseño bioinspirado.