



# INSTRUMENTO PARA EVALUAR LA RIQUEZA DE LA PRODUCCIÓN CREATIVA EN DISEÑO MECÁNICO CONCEPTUAL

Instrument to evaluate the richness of creative production in conceptual mechanical design

M. E. VALDERREY<sup>1</sup>, L. M. GIRAUD HERRERA<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> Universidad Nacional de Rosario, Argentina  
<sup>2</sup> Universidad Simón Bolívar, Venezuela

---

## KEYWORDS

*Creative evaluation  
Consensual Assessment  
Creative systematization  
Conceptual design  
Mechanical Engineering  
Classroom experiences  
Mind visualization*

---

## ABSTRACT

*Classroom experiences from the National University of Rosario, Argentina, are shared. Its objective is to create an instrument to evaluate the creative richness in mechanical design, with an exploratory and proactive method of instrument validation and pilot tests on 156 students. They resulted from imagining diverse objects, compatible with a given view, and defining five levels of richness according to the quantity, diversity and quality of responses compared against a pattern of solutions created by experts. Changes in duration, stimulus complexity, and presence of pre-existing solutions were tested, confirming their potential to investigate creativity in this specific domain.*

---

## PALABRAS CLAVE

*Evaluación creativa  
Evaluación consensuada  
Sistematización creativa  
Diseño conceptual  
Ingeniería mecánica  
Experiencias áulicas  
Visualización mental*

---

## RESUMEN

*Se comparten experiencias áulicas de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Su objetivo es crear un instrumento para evaluar la riqueza creativa en diseño mecánico, con un método exploratorio y propositivo de validación de instrumentos y pruebas piloto sobre 156 estudiantes. Resultaron de imaginar objetos diversos, compatibles con una vista dada, y definir cinco niveles de riqueza según la cantidad, diversidad y calidad de respuestas comparadas contra un patrón de soluciones creado por expertos. Se ensayaron cambios de duración, complejidad de estímulos y presencia de soluciones preexistentes que confirmaron su potencial para investigar la creatividad en este dominio específico.*

---

Recibido: 05/07/2022

Aceptado: 19/09/2022

## 1. Introducción

Este estudio propone un instrumento para evaluar la creatividad en diseño mecánico conceptual, surgido de experiencias áulicas en una asignatura específica de ese campo denominada Síntesis de Mecanismos y Máquinas, correspondiente al último año de la carrera Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Es una herramienta sencilla que los propios ingenieros pueden aplicar para analizar y mejorar la generación de ideas de diseño. No reemplaza a las pruebas psicométricas que, por otra parte, son poco frecuentes debido a su complejidad y necesidad de personal experto.

En este ámbito de ingeniería mecánica la creatividad no ha recibido el tratamiento interdisciplinar que merece, vinculándose con la psicología y otras ciencias que lideran su estudio. Esta desconexión condujo a restar importancia a conceptos vitales para el diseño conceptual, como el Pensamiento Lateral. Según De Bono (1970), su creador, el pensamiento lateral complementa al racional como otra forma útil de pensar. La mente codifica la información a medida que llega y la asimila en patrones previos, reestructurándolos o creando otros nuevos si no lo logra. El desuso los debilita y borra, y el uso los refuerza y también los rigidiza ante nuevos cambios. Pensar lateralmente un problema flexibiliza los patrones y conduce a comprobar las suposiciones; permite formular debidamente las preguntas, y tener distintas visiones. Para ello se pueden aplicar técnicas como suprimir algún aspecto del problema y modificar o exagerar otros, hacer analogías, invertir el problema y/o fraccionarlo en distintos componentes, aplazar juicios y opiniones, entre otras.

La enseñanza clásica del pensamiento inventivo para diseño siguió otros caminos, buscando la sistematización de la innovación tecnológica con diversas metodologías, como las reseñadas por Pahl et al. (2007) para el período 1953-2002. Con atractivas promesas de sistematizar la creatividad se inclinó la balanza hacia metodologías estructuradas como TRIZ, surgida del trabajo de Altshuller (1984) y reconocida por profesionales y empresas de todo el mundo (Nishiyama y Requena, 2019):

Después de más de dos décadas de entrega apasionada a la investigación y después de haber inspeccionado cientos de miles de patentes llegó a una conclusión fabulosa, que es posible sistematizar la creatividad y que el talento humano acumulado a través de los millones de inventores que ha habido en diferentes épocas se puede capitalizar para estructurar una metodología formal que permita soluciones creativas sin necesidad de utilizar el gastado método de ensayo y error. (p. 9)

El enfoque psicológico de la creatividad no teme abrir caminos nuevos y divergentes al generar ideas, buscando romper moldes y liberarse del conocimiento previo. En cambio, el enfoque ingenieril de la innovación tecnológica procura una rápida convergencia a la mejor solución, aprovechando una base de conocimientos previos. El diseño mecánico, en su etapa conceptual, requiere de ambos porque es divergente-convergente. Inicia con un esfuerzo divergente de disrupción e innovación, para ampliar el conjunto de posibles soluciones, y luego se torna convergente, al elegir el concepto más prometedor para dar paso a su desarrollo básico y, finalmente, a su rigurosa definición detallada.

### 1.1. Evaluación de la creatividad

La evaluación del constructo "creatividad" aún resulta controvertida. Desde la psicología, los expertos opinan que el concepto no está bien definido y que los distintos enfoques y diseños de investigación no se relacionan entre sí, restando confiabilidad y validez a las pruebas:

Cuando se revisa a fondo y durante un lustro la bibliografía existente sobre la creatividad la sensación es de un cierto "caos". En efecto, la situación científica del concepto se puede calificar de "borrosa" la comprensión de la creatividad puede ser catalogada como un "problema mal definido". (Huidobro, 2004, p. 2)

Si partimos de la idea que la creatividad es un aparato funcional que no puede activarse de manera muy frecuente y el producto creativo dependerá de diversas circunstancias, es evidente que estos aspectos dificultan significativamente la confiabilidad y validez de las pruebas... la gran mayoría de teorías de creatividad parten de representaciones pre-científicas confusas y en muchos de los tests elaborados se aplican criterios que forzosamente proceden de quienes tienen un concepto distinto al realizador del test ... es lógico pensar que las pruebas de creatividad no puedan tener índices de fiabilidad superiores. (Laime, 2005, pp. 38-39)

Existe una relación recíproca entre la formulación conceptual y metodología para estudiar la creatividad: el concepto no está bien definido, entonces las investigaciones emplean diseños diferentes, por lo que los resultados no son coherentes entre sí. Un problema es que la evaluación depende del enfoque que se asuma, pues de esto dependerá el instrumento de evaluación que se diseñe. existen fundamentalmente

tres enfoques...: como pensamiento divergente, como producción creativa o como rasgo de la personalidad... No fuese problemático que existiesen todas estas alternativas de evaluación si existiese relación entre ellas; pero este no es el caso. (Morales, 2017, pp. 56-58)

Desde la ingeniería, la bibliografía revela algunos autores y métodos particulares para evaluar la creatividad en diseño de productos. Tang y Gero (2002) plantean un modelo basado en una fase de generación de ideas y otra de exploración, que cuantifica las ideas en ambas fases y postula que la relación entre ellas es una medida de la creatividad del proceso. Redelinghuys (1997) propone una expresión matemática entre el esfuerzo creativo, la calidad del producto y la experiencia del diseñador, asumiendo la variación hiperbólica del esfuerzo con la experiencia, a igualdad de calidad, donde los tres conceptos requieren juicio experto. Vargas et al. (2012) plantean mejoras en la métrica de Shah et al. (2003) para evaluar la cantidad, variedad, calidad y novedad de las ideas presentes en un árbol genealógico de diseño. Este árbol jerárquico inicia con un objetivo o función, provisto por uno o más principios físicos, aplicados a través de principios de trabajo, a su vez, implementados con una o más ideas, en total coincidencia con la aproximación sistemática al diseño en ingeniería desarrollada por Pahl et al. (2007). El diseño de productos es uno de los puntos de encuentro entre los enfoques de la psicología y la ingeniería. Por un lado, la ingeniería aporta el conocimiento del dominio a evaluar y sus actores son irremplazables como jueces expertos para validar la creatividad de sus productos. Por el otro, la psicometría ha instalado la discusión sobre la conveniencia de evaluar la creatividad a través de tareas interesantes para los sujetos que logren involucrarlos en su consecución:

Para valorar el nivel de creatividad de los sujetos en un área de actividad específico, deben utilizarse tareas o problemas relacionados con la misma, donde se logre en la mayor medida posible la implicación real del sujeto en su ejecución. El producto creativo es posible en gran medida por los recursos personalológicos que el sujeto posee y despliega en la consecución de lo que son sus objetivos principales. Si para evaluar las posibilidades creativas utilizamos tareas o problemas que no tienen para él un sentido real, corremos el riesgo de evaluar como baja la creatividad de un sujeto que, sin embargo, pudiera ser alta ante otra situación o esfera en la que sí esté realmente implicado. (Mitjás, 1993, p. 106).

Poner en crisis la evaluación genérica de la creatividad dio lugar a un desarrollo muy prometedor desde la psicología: la técnica de evaluación consensuada (del inglés CAT, *Consensual Assessment Technique*) creada por Amabile (1982) como una técnica explícitamente subjetiva que inicia con una evaluación global, en contraposición a las pruebas objetivas que puntúan tareas aisladas para luego integrarlas a una calificación global de la creatividad del individuo. La autora considera, además, que sus estímulos permiten gran flexibilidad en las respuestas, ya que los sujetos crean algo concreto como un poema o una pintura, que es criticado imitando las prácticas de evaluación del mundo real, a través del juicio subjetivo confiable de ciertos observadores apropiados. La CAT es valorada por muchos investigadores, a pesar de algunas limitaciones. Hennessey et al. (2011) afirman que, si las preocupaciones de tiempo son primordiales, este enfoque es decididamente poco práctico porque elegir una tarea apropiada y un cuerpo de jueces adecuado puede llevar mucho tiempo, al igual que la evaluación de los productos y los análisis de datos estadísticos necesarios. Consideran que su mayor fortaleza radica en la flexibilidad que ofrece a los investigadores de la creatividad. En primer lugar, la CAT se puede utilizar para obtener evaluaciones fiables de la creatividad relativa (bondad técnica, atractivo estético, etc.) entre productos de diferentes individuos. En segundo lugar, la CAT se puede ampliar a nuevas poblaciones de sujetos, nuevos dominios de rendimiento y nuevas tareas que son bastante diferentes de las previstas originalmente. Finalmente expresan que, al imitar la forma en que la creatividad se juzga todos los días en las artes, las ciencias y las profesiones, la CAT ayuda a llevar la creatividad del reino de lo misterioso y lo místico, donde permaneció durante siglos, al reino de lo entendido y lo accesible.

## 1.2. Un aporte desde el aula

Desde la cátedra de *Síntesis de Mecanismos y Máquinas* se desea aportar un instrumento de evaluación de la creatividad para este campo específico, basado en una actividad que capta el interés de los sujetos y es fácil de revisar sin necesidad de un jurado de expertos. A partir del concepto de CAT, laboriosamente aplicado para las evaluaciones finales de la asignatura, se exploraron diversas tareas propias del diseño mecánico conceptual, buscando aquellas que sean atractivas para los participantes y permitan estimar de manera más simple su potencial creativo para esta disciplina.

Se encontró una actividad didáctica clásica, de épocas previas al diseño asistido por ordenador, que se adaptó como instrumento para medir la riqueza creativa de un conjunto de conceptos de diseño. Consistía en visualizar mentalmente la geometría 3D de los objetos diseñados para luego proyectarlos de forma consistente obteniendo las vistas 2D que se dibujaban a mano en los planos de fabricación. Su forma inversa consistía en leer las vistas 2D de un objeto y componer mentalmente su forma 3D. Ambas formas admitían análisis con técnicas de geometría descriptiva para relacionar los puntos proyectados en 2D con sus coordenadas en 3D. Pero esto se hacía en etapas de detalle, cuando el dibujo se tornaba riguroso con ayuda de tableros, reglas T, escuadras, compases,

transportadores de ángulos y otros dispositivos. En cambio, la etapa conceptual del diseño, transcurría en gran medida en la imaginación del diseñador que manipulaba mentalmente las formas y bocetaba flexiblemente a mano alzada. Para ello entrenaban su capacidad de visualizar la forma de los objetos, modificarla, ensamblar conjuntos de partes, imaginar movimientos complejos e incluso deformaciones.

La adaptación de esta tarea consistió en darle grados de libertad para que deje de estar totalmente definida, con solución única, y se convierta en un problema abierto, con múltiples soluciones. Para ello se propuso como estímulo una sola vista 2D, la frontal del objeto, que resulta compatible con infinitas geometrías 3D libradas a la imaginación del sujeto. Al dar vistas en cantidad insuficiente, se intenta disparar un proceso de generación de ideas (formas de objetos en este caso), cuya validación sea sencilla (verificar mentalmente que el objeto se ajuste a la vista frontal dada) y breve para limitar las elaboraciones puramente analíticas. Se conforma así un problema de diseño del cual resulta un conjunto de soluciones cuya cantidad, diversidad y calidad permiten valorar su riqueza creativa a través del juicio de observadores expertos, asumido como confiable, al igual que en la CAT.

En este estudio, la riqueza surge de la cantidad, diversidad y calidad de ideas, a través de una métrica *ah hoc* derivada del juicio experto. Admite un paralelo con la creatividad de un sujeto, según la psicología, reflejada en su fluidez (abundancia de ideas), flexibilidad (cambio ágil de perspectivas), originalidad (producción de ideas novedosas) y elaboración (complejidad y detalle de las ideas).

La ingeniería necesita herramientas de diagnóstico y mejora de sus procesos creativos que puedan ser gestionadas por los propios ingenieros. La dinámica industrial impone que los directores de proyectos tengan autonomía para detectar y corregir, sobre la marcha, falencias en un proceso de diseño o en el modo de pensar un problema e idear alternativas de solución. Las pruebas psicométricas de creatividad, de dominio general o específico, carecen de agilidad para su aplicación en condiciones industriales y, además, no proveen resultados vinculados con la práctica ingenieril que sirvan como indicadores del éxito de las estrategias de mejora. Este incipiente desarrollo permite vislumbrar un nuevo tipo de instrumento, inspirado en la CAT, pero con una característica que le brinda autonomía a su aplicación: el uso de un patrón de soluciones esperables. El mismo provee las claves del conjunto infinito de respuestas a cierto grupo de estímulos semejantes y compila el juicio experto en el protocolo de la prueba, haciéndola portable. Además, deja abierta la posibilidad de automatizar la revisión con técnicas de reconocimiento y clasificación de imágenes.

## 2. Objetivos

El objetivo general de esta investigación es crear un instrumento para evaluar la riqueza de la producción creativa en el campo específico del diseño mecánico conceptual, a través de actividades atractivas para los participantes, sencillas de revisar, sin necesidad de un jurado de expertos, y con potencial para ser informatizadas a futuro. Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el fenómeno de generación y evaluación de ideas en diseño mecánico para descubrir las características de este proceso creativo, sus productos y habilidades involucradas.
2. Identificar las variables, indicadores y definiciones operacionales apropiadas, para diseñar las métricas de valoración de la riqueza de las producciones creativas.
3. Desarrollar estímulos visuales a usar en las pruebas para componer la estructura, interfaz, objetos y métodos del instrumento y validar sus contenidos.
4. Demostrar la confiabilidad y validez del instrumento, para justificar su uso como herramienta de diagnóstico del proceso de diseño mecánico conceptual.

## 3. Metodología

### 3.1. Diseño

Esta investigación es propositiva, de alcance exploratorio y diseño de validación de instrumentos. Implica la creación de un instrumento de evaluación de la producción creativa en diseño mecánico conceptual, la validación de sus contenidos por juicio de 15 expertos y los análisis de confiabilidad y de validez. Explora y elabora conceptos a través de experiencias áulicas sencillas, pero inspiradas en el ideal de evaluación creativa en dominios específicos, basado en tareas de interés para los sujetos de prueba, cuyos productos resultantes se someten al juicio de profesionales expertos en esa disciplina.

### 3.2. Población y muestras

La población se compone de 250 estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario (Argentina), inscriptos en el plan de estudios vigente desde 2014, y que cursan el último año de la carrera entre 2018 y 2022.

Se tomaron 7 muestras entre 2019 y 2022 de 24, 19, 21, 25, 20, 28 y 19 estudiantes de 5º año de la citada carrera, cursantes en la asignatura de dictado bianual *Síntesis de Mecanismos y Máquinas*, totalizando 156 sujetos de estudio, mayores de edad, de ambos sexos, en situación académica regular y muy próxima a la graduación.

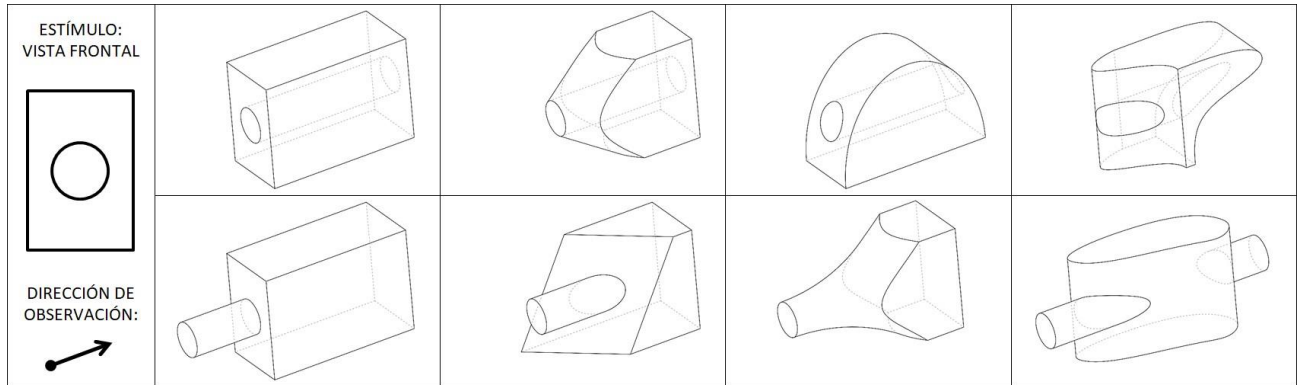


### 3.3. Objeto y método de estudio

Se busca valorar la *riqueza de la producción creativa*, en el dominio específico del diseño mecánico conceptual, a partir de tareas menos complejas de ejecutar y evaluar que un caso real de diseño, pero que presenten similares retos y comprometan idénticas capacidades, en la mayor medida posible.

La actividad propuesta consiste en crear objetos en 3D compatibles con una vista frontal en 2D como respuesta a la pregunta: ¿Qué objetos imaginas que se corresponden con esta vista frontal?

Figura 1. Ejemplo de estímulo 2D y algunas respuestas 3D

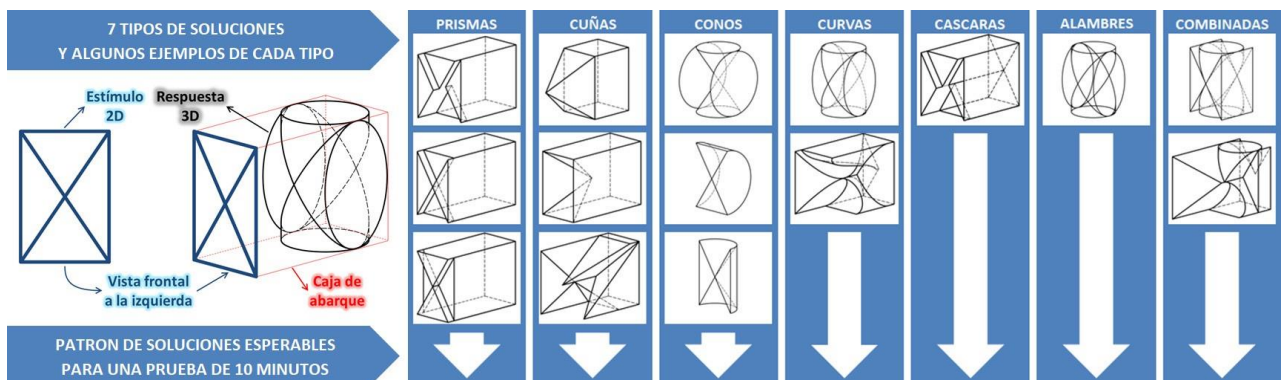


Fuente: Valderrey (2022, p. 2).

Imaginar formas tridimensionales a partir de una vista frontal no captura toda la complejidad del diseño mecánico conceptual, pero es equivalente como desafío creativo: existe un estímulo, disparador del proceso, que provoca cierta tensión e induce la búsqueda de soluciones, con la incertidumbre de un problema abierto y la expectativa de innovar. Del mismo resulta, como producción creativa, un conjunto de soluciones que exhibe cierta cantidad, diversidad y calidad de ideas.

Se trata de un problema insuficientemente definido que admite infinitas soluciones agrupables en un número finito de tipos. Estos tipos, en el conjunto de soluciones, son predecibles por juicio experto y contienen infinitas soluciones de apariencia variada, pero derivadas de una misma regla. Así, es posible prescindir de un jurado de expertos para revisar las pruebas si, con antelación, se plasma su juicio experto en patrones de soluciones esperables contra los cuales comparar las respuestas y obtener puntuaciones, incluso de forma automática, por reconocimiento de imágenes. El tamaño y complejidad de un patrón dependen del estímulo correspondiente y de la duración prevista para la prueba. No es necesario que contenga gran cantidad de soluciones particulares, ya que su principal utilidad es definir las familias o tipos, y brindar ejemplos suficientes de cada uno que permitan captar la regla de generación de sus soluciones particulares. Así, cualquier revisor, debidamente capacitado en el protocolo de esta prueba, logrará encasillar las respuestas de los participantes en alguno de los tipos y aplicar los criterios de calidad, que se explican más adelante, para determinar si son válidas.

Figura 2. Ejemplo de patrón con 7 tipos de soluciones esperables



Fuente: Valderrey (2022, p. 3).

### 3.4. Variables y definiciones

Se presentan las definiciones conceptuales de las variables y las definiciones operacionales acordes a las pruebas piloto de 10 minutos reportadas en este estudio. Para los estímulos usados, esta duración es suficiente para la etapa más espontánea de la generación de ideas, luego de la cual prevalecen mecanismos racionales que combinan y reelaboran las ideas de esa etapa espontánea.

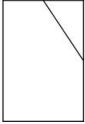
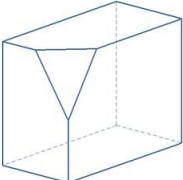
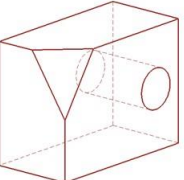
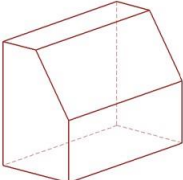
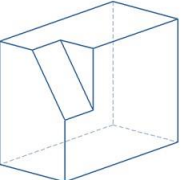
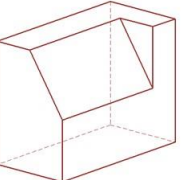
**Riqueza.** Conceptualmente es un juicio de valor sobre la producción creativa lograda para cierto caso de diseño, que depende de la *cantidad*, *diversidad* y *calidad* de las soluciones logradas en un tiempo específico. Operacionalmente se expresará en cinco niveles: 1=Escasa, 2=Baja, 3=Media, 4=Alta y 5=Superior, definidos en el plano de *coordenadas diversidad y cantidad* de soluciones para una *calidad aceptable*, durante 10 minutos de prueba, según una *métrica ad hoc* derivada del juicio experto.

**Cantidad.** Conceptualmente es el número de soluciones, de calidad aceptable, propuestas para un caso de diseño en un tiempo específico. Operacionalmente se expresará en cinco niveles relacionados con rangos de cantidades definidos por el patrón de soluciones esperables para 10 minutos de prueba: 1=Escasa (0-5 soluciones), 2=Baja (6-10), 3=Media (11-15), 4=Alta (16-20) y 5=Superior (>20).

**Diversidad.** Conceptualmente es el número de tipos de soluciones, netamente diferenciables, propuestos para un caso de diseño en un tiempo específico. Operacionalmente se expresará en cinco niveles según la cantidad de tipos del patrón de soluciones esperables para 10 minutos de prueba: 1=Escasa (1 tipo), 2=Baja (2 tipos), 3=Media (3 tipos), 4=Alta (4 tipos) y 5=Superior (>4 tipos).

**Calidad.** Conceptualmente es el nivel de satisfacción del efecto útil logrado por una solución. Operacionalmente se expresará en dos niveles: 0=Inaceptable, 1=Aceptable. Una respuesta es aceptable cuando tiene forma válida y diferenciable. Su forma es válida si genera una vista frontal idéntica al estímulo cuando todas sus aristas ocultas están dibujadas. Además, su forma es diferenciable del resto de respuestas si no puede obtenerse por un simple cambio de tamaño, inclinación, curvatura, posición, rotación o espejado de otra respuesta.

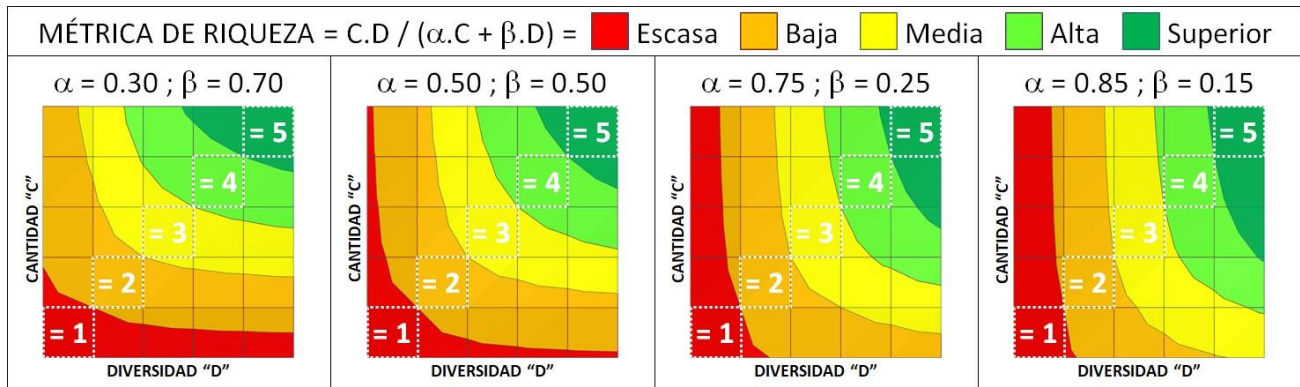
Figura 3. Ejemplo de respuestas aceptables e inaceptables

<p><b>ESTÍMULO:</b> Vista frontal de un objeto con aristas ocultas tapadas por las aristas visibles.</p>  <p>La vista no muestra sombras ni aristas tangentes (filos ficticios).</p>	<p><b>RESPUESTA 1:</b> <b>ACEPTABLE</b></p>  <p>Su forma es válida y diferenciable (es la primera).</p>	<p><b>RESPUESTA 2:</b> <b>INACEPTABLE</b></p>  <p>Su forma no es válida. Tiene aristas ocultas de más.</p>	<p><b>RESPUESTA 3:</b> <b>INACEPTABLE</b></p>  <p>Su forma no es válida. Tiene aristas visibles de menos.</p>	<p><b>RESPUESTA 4:</b> <b>ACEPTABLE</b></p>  <p>Su forma es válida y diferenciable de la rpta 1.</p>	<p><b>RESPUESTA 5:</b> <b>INACEPTABLE</b></p>  <p>Su forma es válida pero no diferenciable de la rpta 4.</p>
---	--	---	--	---	---

Fuente: Valderrey (2022, p. 5).

**Métrica.** Conceptualmente refleja la incidencia relativa de la diversidad y la cantidad sobre la riqueza, definiendo eventuales asimetrías fuera de la diagonal principal del plano diversidad y cantidad, donde ambas coinciden. Operacionalmente se expresará como el cociente del producto diversidad\*cantidad entre un promedio ponderado de ellas, cuyos pesos definen el nivel de asimetría. En este estudio se definen pesos de 0.85 para la cantidad y 0.15 para la diversidad que otorgan más riqueza a las situaciones donde la cantidad es baja, pero la diversidad es elevada, que al contrario.

Figura 4. Asimetrías de la riqueza según la ponderación



Fuente: Valderrey (2022, p. 6).

El criterio de ajuste de los pesos a 0,85 y 0,15 se basó en considerar que la diversidad, por sí misma, tiene implícita cierta cantidad y, por tanto, una diversidad alta o superior, aun con cantidad escasa, se asocia a una riqueza media. En tanto que, una diversidad escasa arrastra el valor de la riqueza a escasa o baja, aunque la cantidad resulte alta o superior. A fines creativos, la diversidad es más valiosa y buscada que la cantidad, y requiere flexibilidad de pensamiento para buscar conceptos distintos, despreocupados de lo convencional o normal. Una gran cantidad de ideas, encasillada en una misma tipología de solución, puede incluso ser fruto de una elaboración racional, intencional o no, que explota a fondo una regla de creación sin intentar crear otras reglas. Este criterio queda plasmado en el plano de coordenadas diversidad y calidad, para la ponderación elegida, por curvas de nivel de la riqueza que se desarrollan casi verticalmente. Así, para diversidad escasa y baja la riqueza no cambia con la cantidad, y a mayor diversidad solo atraviesa dos o tres niveles con el incremento de la cantidad. Pero al revés, para cada nivel de cantidad, la riqueza atraviesa de tres a cinco niveles según la diversidad.

### 3.5. Las experiencias áulicas

Las experiencias áulicas reportadas en este estudio fueron presentadas a los estudiantes a través de diapositivas que explican su importancia, brindan ejemplos y guían su desarrollo, como es habitual en otras actividades de la cátedra *Síntesis de Mecanismos y Máquinas* del último año de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Rosario (Argentina). Los contenidos de las diapositivas incluyen textualmente los siguientes apartados:

**Anuncio.** Les proponemos participar en un estudio ingenieril del proceso creativo de diseño que no aborda aspectos psicológicos ni capacidades mentales como una prueba psicométrica. No busca una medida de la creatividad, similar al coeficiente intelectual como algo innato y definitivo, que se tiene o no se tiene. Por el contrario, se trata de una prueba ingenieril de proceso que intenta entender el desarrollo de una actividad para procurar una mejora procedimental. Ambos tipos de prueba pueden analizar una producción creativa en un dominio específico, porque materializa la creatividad y permite la crítica por parte de expertos en ese campo, pero difieren en la interpretación y el uso de sus resultados. El enfoque ingenieril busca mejores prácticas profesionales utilizando estas pruebas como indicadores del éxito de sus estrategias de mejora.

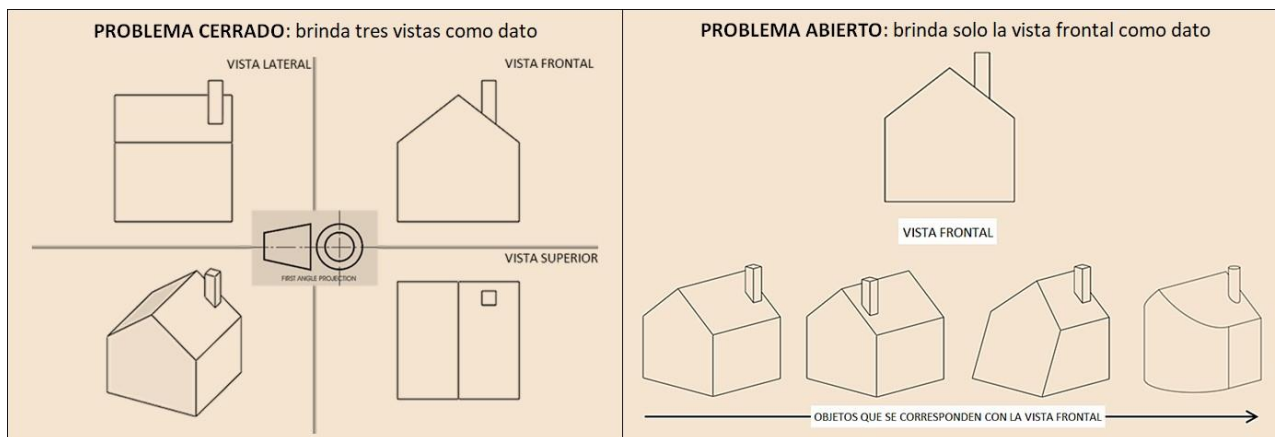
**¿Qué haremos?** Una sencilla actividad de diagnóstico de nuestro proceso de generación de ideas, a través de la cantidad, diversidad y calidad de las mismas, durante un tiempo muy acotado en el cual la respuesta sea mayoritariamente espontánea y no tan meditada racionalmente.

**¿Para Qué lo haremos?** Para lograr un entendimiento, de este proceso de respuesta a estímulos de diseño, que nos permita encontrar oportunidades de mejora para nuestras producciones creativas en mecánica conceptual. Posteriormente discutiremos acerca de los resultados obtenidos y cómo utilizarlos para guiar nuestra estrategia de mejora personal.

**¿Cómo lo haremos?** Con una técnica que se usaba antiguamente para entrenar diseñadores que dibujaban a mano, sin la asistencia de un ordenador que muestre los objetos en 3d, los transforme y genere automáticamente sus vistas 2D. La misma consiste en visualizar mentalmente los objetos que se correspondan con una vista frontal dada como dato. Se trata de un problema abierto, con soluciones múltiples, ya que una sola vista 2D es insuficiente para definir una geometría 3D. Al dar vistas en cantidad insuficiente, intentamos disparar un proceso de generación de ideas (formas de objetos en este caso) cuya validación sea sencilla y rápida (verificar mentalmente que el objeto se ajuste a la vista frontal dada) involucrando lo menos posible al pensamiento vertical (respuestas deductivas).

**Ejemplo de problema cerrado.** Si se proveen suficientes vistas de un objeto, aclarando si son proyecciones del primer o tercer cuadrante, y mostrando todas sus aristas (visibles en líneas continuas, ocultas en líneas de trazos, tangentes en líneas finas, etc.), su forma tridimensional resulta única y bien determinada.

Figura 5. Ejemplos de problemas cerrados y abiertos



Fuente: Valderrey (2022, pp. 7-8).

**Ejemplo de problema abierto.** Si solo se provee una vista frontal, las posibilidades de encontrar o diseñar objetos que se ajusten a ella crecen indefinidamente. Es sencillo crear gran cantidad de objetos muy semejantes, pero el mayor valor creativo está en imaginar objetos bien diferenciados.

**¿Por Qué lo haremos?** Porque el diseño mecánico, en su etapa conceptual, hace extenso uso de las visualizaciones mentales, para dar dinamismo a la generación y evaluación de múltiples ideas, y lograr asociaciones novedosas entre conceptos disímiles. En tanto que las etapas convergentes del diseño, (básica y detallada) se desarrollan exitosamente con la asistencia de ordenadores para definir todos los detalles de una solución en particular. Las potentes funcionalidades de un sistema paramétrico de dibujo y diseño asistidos por ordenador no se adaptan bien a las tareas desestructuradas propias de la etapa conceptual, porque requieren la creación de modelos basados en operaciones geométricas rígidas (extrusión, revolución, barrido, etc.) que restan espontaneidad al trabajo conceptual. Para plantear conceptos de diseño, el mejor sistema de asistencia es la propia memoria de trabajo, debido a su extrema flexibilidad y rapidez, pero su capacidad es limitada. Cuando se desborda, se recurre al lápiz y papel (o a sus equivalentes digitales: las aplicaciones *freehand*) para volcar su contenido a un medio auxiliar, trabajar sobre detalles complejos de retener, y guardarlo en forma permanente. Por ello, aunque hace décadas el dibujo técnico manual cedió el paso al asistido por ordenador, se propone reflotar antiguas técnicas de visualización mental que todavía son útiles para el diseño conceptual.

**Actividad presencial o virtual sincrónica.** La actividad se desarrollará en forma presencial o virtual sincrónica y su ejecución durará exactamente 10 minutos a partir de la presentación del estímulo visual sobre el que se trabajará. Con suficiente anticipación estará disponible en el espacio virtual de la asignatura, dentro del campus de la universidad, el material que se comparte ahora y todas las consignas y preparativos para la actividad.

**Preparativos.** Se imprimirá en hojas blancas lisas, tamaño A4 apaisadas, una plantilla provista por la cátedra. La misma posee tres páginas divididas en 12 sectores numerados consecutivamente, que muestran una caja de abarque en línea suave para acelerar el dibujo isométrico de las respuestas. La orientación de la vista frontal en la caja de abarque será siempre la misma, abajo a izquierda. Al pie de cada hoja se deberá consignar el número de legajo personal.

**Instrucciones.** A partir de la presentación del estímulo visual, se dispone de 10 minutos para dibujar a mano alzada las respuestas, con ayuda de las cajas de abarque preimpresas. No es necesario dibujar líneas ocultas ni tangentes o sombreados salvo que fuese indispensable para interpretar la forma del objeto creado, o muy ventajoso, como un sombreado para poner en evidencia superficies curvas complejas. Los objetos se dibujan a medida que se van visualizando, en el orden indicado en los sectores de las hojas, sin importar si quedan incompletos al percatarse que una idea realmente no funciona. El orden en el que aparecen las ideas, sean válidas o no, es importante para entender el proceso de generación y evaluación. Por último, escribir junto a cada objeto la letra "E" cuando se trate de una visualización "espontánea" o la letra "A" cuando la misma haya surgido de una reflexión o análisis de ideas previas. Es interesante saber cuándo se usa, o se cree haber usado, uno u otro método, aunque solo se trate de una impresión personal. Luego de concluir la actividad, cada uno digitaliza su trabajo (con escáner multifunción o una aplicación para teléfono móvil) y lo sube a una tarea de Moodle habilitada a tal efecto en el campus virtual. Si el desarrollo es presencial, se visan las hojas para su posterior digitalización y subida, y si es virtual, se digitalizan y suben durante la videoconferencia.

**Revisión.** Una vez cerrada la tarea de Moodle, la cátedra inicia la revisión con ayuda del patrón de soluciones esperables, previamente elaborado según el estímulo y duración de la prueba. A cada objeto se le aplica el criterio de calidad que define si es válido y diferenciable, en cuyo caso suma a la cantidad, y a la diversidad según su tipo.



La decisión de computar solamente las respuestas válidas es arbitraria, ya que en otras prácticas creativas (como la lluvia de ideas) es común considerar todo el volumen de respuestas, al margen de su calidad, y posponer la aplicación del criterio de validez. Estos datos se vuelcan a una planilla de cálculo que implementa la métrica, establecida y ponderada según el juicio experto, para obtener una medida de la riqueza de la producción creativa.

**Informe personal y debate grupal de resultados.** Cada participante recibe los resultados de su prueba y luego la cátedra responde consultas y hace consideraciones generales durante una instancia de debate grupal. En la misma se muestra el patrón de soluciones esperables para el caso propuesto y otros casos similares, brindando detalles del proceso mental seguido por sus creadores. Aunque cada producción creativa es personal, es útil ver la de otras personas y cómo surge desde sus expresiones espontáneas hasta las analíticas. Se discute la incidencia del conocimiento previo en la generación rápida de algunas ideas y también en la recurrencia de otras (dificultad para romper los moldes) y en los bloqueos creativos (parálisis por análisis) que obstaculizan la innovación. El diagnóstico sirve como motivación para estudiar técnicas de asociación de ideas, identificación y ruptura de patrones de pensamiento, pensamiento vertical y lateral, entre otros contenidos típicos de la asignatura.

**Explicación del juicio experto aplicado.** En primer lugar, se aclara que el juicio de los expertos es un recurso valioso, pero no exento de arbitrariedades y errores. La elección de expertos para cualquier jurado es un hecho que, si bien está avalado por los logros del candidato en una disciplina específica, no escapa a la subjetividad del grupo humano y al contexto que le otorgan su importancia. Nuestra forma de transparentarlo consiste en describir con todo detalle el desempeño profesional y académico de los integrantes de la cátedra, que adoptarán el rol de jurados expertos, haciendo hincapié en los enfoques ingenieriles de los ámbitos industriales en los que cada uno se ha desarrollado. Por otro lado, es importante brindar detalles sobre el criterio de evaluación y su razón de ser. En tal sentido, lo primero es aclarar que la etapa de diseño que se pretende evaluar y mejorar (etapa conceptual) se caracteriza por la interpretación flexible del problema de diseño y el planteamiento de un conjunto de soluciones lo más amplio y diverso posible. Esto suele generar dos interrogantes:

¿Por qué se buscan muchas soluciones variadas si luego se elige y desarrolla en detalle solo una? Porque esta instancia divergente incrementa las posibilidades de encontrar asociaciones innovadoras y conceptos disruptivos que conduzcan a una mejor solución. La elección y validación de la mejor solución se dan al final de la etapa conceptual, antes de las etapas básica y detallada que luego la definen por completo para permitir su materialización a cualquier escala de producción.

¿Si una persona genera pocas soluciones, pero excelentes, este criterio le atribuiría escasa riqueza a su producción? Sí, porque no se hace hincapié en la calidad, solo se verifica la validez de las soluciones. Pero se detectaría como un valor anómalo, que igualmente proviene de alternativas múltiples, quizás creadas rápidamente en la memoria de trabajo que la persona no logró o no quiso mostrar. Parece poco probable que alguien logre visualizar una solución innovadora sin imaginar primero las más comunes que, por contraste, la revelan como tal. Más bien, podría estar actuando como un gran maestro de ajedrez o de pintura, que imagina todos los escenarios en su mente a extrema velocidad, pero solo muestra una jugada o pincelada, que no es mágica ni aleatoria, sino fruto de un proceso de generación y evaluación, memorizado previamente o ejecutado en tiempo real.

## 4. Resultados

Se presentan los resultados de las experiencias áulicas para 7 muestras que se consideran pruebas piloto en el proceso de diseño del instrumento para evaluar la riqueza de la producción creativa en diseño mecánico conceptual. Constituyen un avance de esta investigación exploratoria propositiva de validación de instrumentos, con miras a la validación de contenidos por juicio de expertos y los posteriores análisis de confiabilidad y de validez, que implicarán pruebas a mayor escala.

Para el reporte de resultados se optó por un formato tabular que consigna todos los datos registrados durante la revisión, aplicando el juicio experto plasmado en el patrón de soluciones esperables, que conducen a establecer la calidad, cantidad y diversidad de las soluciones para cada participante y, por último, a determinar la riqueza de su producción creativa. A nivel de toda la muestra, se registran las ocurrencias de los cinco niveles de cantidad, diversidad y riqueza, y sus valores porcentuales. Por último, se posicionan todos los resultados en el plano de coordenadas diversidad y cantidad que muestra las curvas de nivel de la riqueza, lo cual permite apreciar gráficamente su composición. Cada punto de datos dibujado tiene un grado de transparencia que se pierde a medida que se superponen en él los resultados de varios participantes. Por razones de espacio se han compilado solo los resultados gráficos en la Tabla 1, al final de esta sección.

### 4.1. Pruebas estándar de 10 minutos

En este apartado se hace referencia a 7 pruebas estándar, de 10 minutos de duración, para cada una de las muestras M1 a M7, tomadas entre 2019 y 2022. Ver Tabla 1, filas 1 y 2.

La muestra M1, correspondiente al primer cuatrimestre del año 2019, exhibe una riqueza centrada en el nivel 2=Baja para el 46% de los participantes, compuesta por el nivel 2=Baja para la diversidad y dispersa entre los niveles 1=Escasa, 2=Baja y 3=Media para la cantidad.

La muestra M2, correspondiente al segundo cuatrimestre del año 2019, exhibe una riqueza mayoritariamente de nivel 1=Escasa para el 63% de los participantes, compuesta por el nivel 1=Escasa para la diversidad y dispersa entre los niveles 1=Escasa y 2=Baja para la cantidad.

La muestra M3, correspondiente al primer cuatrimestre del año 2020, exhibe una riqueza casi exclusivamente de nivel 1=Escasa para el 81% de los participantes, compuesta por el nivel 1=Escasa para la diversidad y dispersa entre los niveles 1=Escasa y 2=Baja para la cantidad.

La muestra M4, correspondiente al segundo cuatrimestre del año 2020, exhibe una riqueza casi exclusivamente de nivel 2=Baja para el 84% de los participantes, dispersa entre los niveles 2=Baja y 3=Media para la diversidad y los niveles 1=Escasa y 2=Baja para la cantidad.

La muestra M5, correspondiente al primer cuatrimestre del año 2021, exhibe una riqueza desplazada hacia el nivel 3=Media para el 55% de los participantes, dispersa entre los niveles 3=Media y 4=Alta para la diversidad y dispersa entre los niveles 1=Escasa, 2=Baja y 3=Media para la cantidad.

La muestra M6, correspondiente al segundo cuatrimestre del año 2021, exhibe una riqueza mayoritariamente de nivel 2=Baja para el 71% de los participantes, dispersa entre los niveles 2=Baja y 3=Media para la diversidad y con un nivel 1=Escasa para la cantidad.

La muestra M7, correspondiente al primer cuatrimestre del año 2022, exhibe una riqueza desplazada hacia los niveles 3=Media y 4=Alta, ambos para el 37% de los participantes, dispersa entre los niveles 4=Alta y 5=Superior para la diversidad y los niveles 1=Escasa y 2=Baja para la cantidad.

## **4.2. Prueba de duración extendida a 10+10 minutos**

A fin de explorar conceptos se procedió a ejecutar pruebas adicionales con el instrumento propuesto y los participantes de la muestra M7. La primera de ellas consistió en duplicar el tiempo de la prueba estándar a fin de observar su influencia en el nivel de riqueza y su composición. A tal efecto se marcó la última respuesta de la prueba estándar de la muestra M7 e inmediatamente se procedió a prolongar su duración otros 10 minutos. De este modo fue posible registrar la segunda parte de la prueba en forma independiente, como si se tratase de otra prueba estándar, y finalmente analizar el resultado acumulado de las dos partes de la prueba. Durante los 10 minutos adicionales de prueba, la riqueza se concentró en los niveles 1=Escasa y 2=Baja, dispersos entre niveles 1=Escasa, 2=Baja y 3=Media de diversidad, siempre para el nivel 1=Escasa en la cantidad. Ver Tabla 1, fila 2.

El resultado acumulado fue muy superior al de todas las pruebas estándar en las 7 muestras. Dado que se conservaron los altos niveles de diversidad, el acumulado de cantidades elevó la riqueza hasta el nivel 5=Superior, ausente en todas las pruebas estándar anteriores, y se centró en el nivel 4=Alta para el 53% de los participantes. Ver Tabla 1, fila 3.

## **4.3. Repetición de la prueba estándar cambiando el estímulo**

Los participantes de la muestra M7, una vez concluida la prueba de duración extendida, procedieron a realizar una nueva prueba estándar con un estímulo diferente. La intención de la misma fue observar si se manifestaba un *aprendizaje de la prueba* al repetirla para dos estímulos semejantes y durante el tiempo equivalente a tres pruebas estándar. Cabe destacar que estos estímulos, de apariencia distinta, generan los mismos tipos de soluciones en sus patrones de soluciones esperadas, con lo cual se podría suponer que la experiencia de haber resuelto el primero de ellos se haría notoria en el segundo.

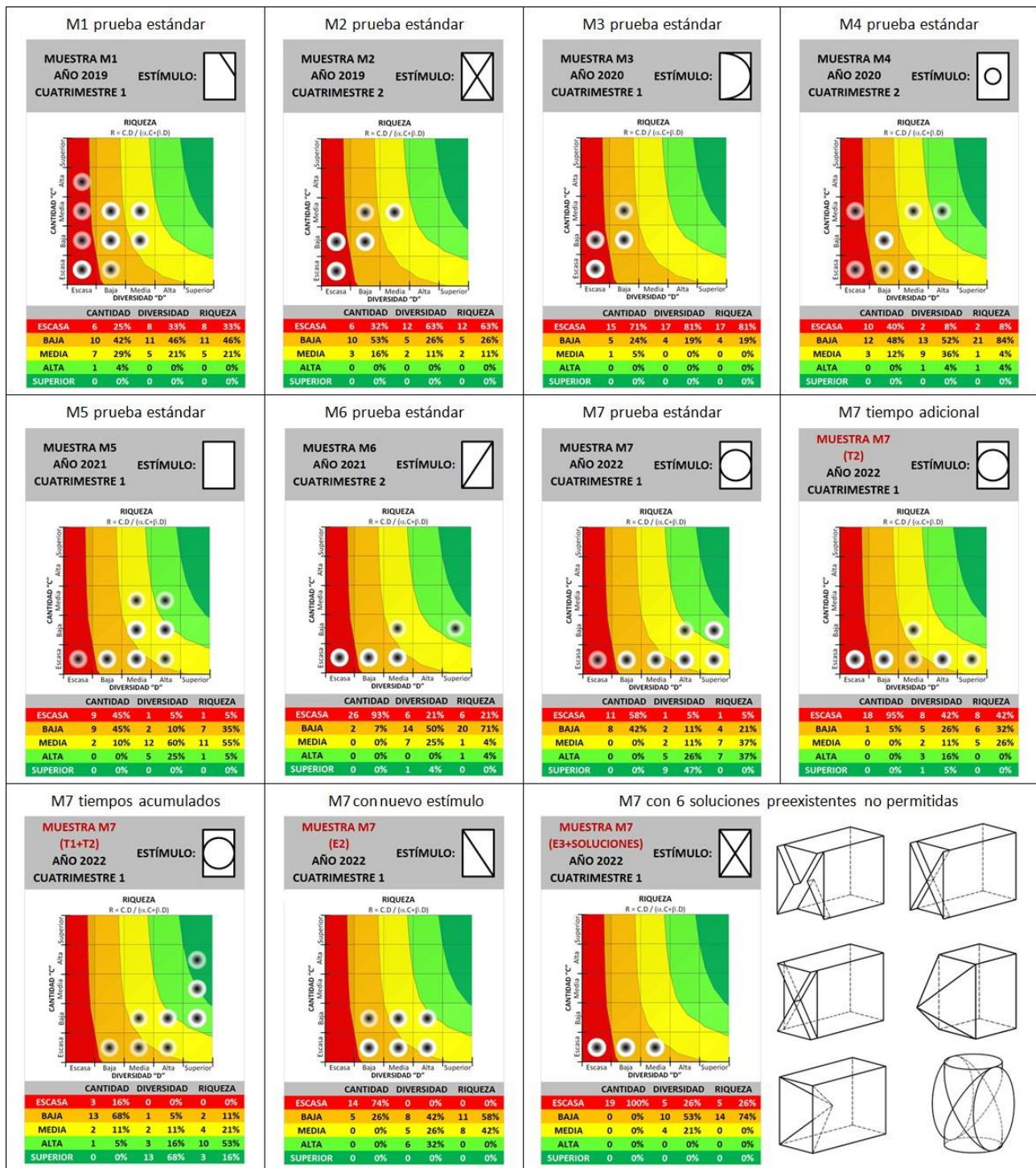
La muestra M7, durante esta segunda prueba estándar, exhibe una riqueza concentrada entre los niveles 2=Baja, para el 58% de los participantes, y 3=Media, para el 42% restante, sin alcanzar niveles 1=Escasa y 4=Alta que sí estuvieron presentes en su primera prueba estándar. Ver Tabla 1, fila 3.

## **4.4. Prueba estándar en presencia de soluciones preexistentes**

Los participantes de la muestra M7, una vez concluida la repetición de la prueba estándar con el segundo estímulo, procedieron a realizar una nueva prueba estándar con un tercer estímulo y, además, en presencia de 6 soluciones preexistentes que no se les permitió utilizar. La intención de la misma fue observar la dificultad de innovar ante el conocimiento previo, como ocurre en diseño conceptual al intentar plantear soluciones propias luego de observar las presentes en el estado del arte.

La muestra M7, en esta tercera prueba estándar, exhibe una riqueza concentrada en el nivel 2=Baja, para el 74% de los participantes, correspondiente a niveles 2=Baja y 3=Media de diversidad y 1=Escasa de cantidad. Ver Tabla 1, fila 3.

Figura 6. Resultados de todas las pruebas sobre las muestras M1 a M7



Fuente: Valderrey (2022, pp. 10-19).

## 5. Discusión

Este estudio exploró y elaboró conceptos sobre la experiencia creativa de diseño mecánico conceptual, buscando aproximarse al ideal de las evaluaciones creativas en dominios específicos, revelado por la literatura como Técnica de Evaluación Consensuada (CAT), pero con menor complejidad y plasmando en patrones el juicio de los expertos, para no requerir su presencia durante las revisiones.

Se aprovechó la estructura de la cátedra *Síntesis de Mecanismos y Máquinas* de la Universidad Nacional de Rosario para cubrir los aspectos que los investigadores de la creatividad consideran más limitantes para la CAT:



escoger una tarea apropiada, reunir un cuerpo de jueces adecuado, evaluar los productos y hacer los análisis de datos estadísticos necesarios.

### **5.1. Elección de una tarea apropiada**

Gracias al profundo conocimiento de todas las tareas involucradas en la disciplina de diseño mecánico, fue posible escoger una actividad sencilla, pero, a la vez, representativa de su desafío creativo global: imaginar objetos tridimensionales a partir de una vista frontal.

La actividad de creación de objetos, cuya forma cumpla ciertos requisitos funcionales o estéticos, está siempre presente en el diseño mecánico. A menor escala, implica lo mismo que la creación de una máquina con múltiples partes, cuya forma cumpla con cierto efecto útil deseado. Requiere un estímulo, disparador del proceso, que genere tensión e impulse la búsqueda de soluciones. En un problema real de diseño, el estímulo suele ser un conflicto notable, cuyas causas hay que investigar a través del análisis causa-efecto, para luego definir el efecto útil deseado que conducirá a la eliminación o reducción de tal conflicto. Este efecto útil deseado es un enunciado resolvente del problema de diseño que indica lo que hay que hacer, conceptualmente, sin definir cómo hacerlo ni con qué artefactos, que surgirán durante el proceso de diseño. En esta prueba se elude el análisis causa-efecto al postular en forma directa el efecto útil deseado: que la forma 3D del objeto se corresponda con la vista 2D dada. Además, se percibe como un reto divertido que oculta, bajo su apariencia sencilla, la posibilidad de encontrar soluciones originales. Tanto los estímulos de casos reales como los de esta prueba teórica cumplen su función como disparadores del proceso creativo.

Por otro lado, como la etapa conceptual es inicialmente muy divergente, genera la incertidumbre habitual en un problema abierto, que se sale de la zona de confort ingenieril donde se tienen datos suficientes para aplicar un procedimiento pertinente que arroja como resultado una solución única. Esto crea la necesaria tensión que buscará relajarse a través de la generación de soluciones, alternando entre momentos motivantes con expectativas de innovar y otros frustrantes cuando no se vislumbran soluciones válidas, originales o disruptivas propias de una etapa conceptual. De este proceso resulta por igual en ambos casos, real y teórico, una producción creativa como conjunto de soluciones que exhibe cierta cantidad, diversidad y calidad de ideas. La valoración conjunta de estos tres atributos permite hablar de la riqueza creativa de la producción.

### **5.2. Reunión de un cuerpo de jueces adecuado**

El otro aspecto limitante para una CAT, relativo al cuerpo de jueces adecuado, quedó a cubierto por la composición del equipo de docentes de la cátedra, elegido por concurso público y abierto de títulos, antecedentes y oposición para cubrir un perfil especializado en diseño mecánico conceptual, básico y detallado, avalado por una vasta experiencia en el ámbito industrial.

En este equipo confluyen experiencias de casi cuatro décadas de desempeño en industrias multinacionales de primera línea en los rubros: siderúrgico, metalmecánico, automotriz, agrícola y alimenticio; desarrollando ingeniería de diseño, mantenimiento y calidad de todo tipo de máquinas y equipos industriales. Sumado a ello, más de dos décadas de docencia universitaria en el ámbito de la ingeniería mecánica, aseguran su idoneidad en contenidos temáticos, actividades curriculares, metodologías de enseñanza y de evaluación.

### **5.3. Evaluación de los productos**

En esta cátedra de diseño conceptual, el método de evaluación final es una CAT personalizada al interés de cada individuo. Consiste en plantear un proyecto real a elección de cada estudiante que se desarrolla con la guía permanente del jurado de expertos y es finalmente evaluado por este, con idénticos criterios a los utilizados en la práctica profesional. Busca el interés del sujeto, permitiéndole elegir un tema de cualquier índole y complejidad como una forma de asegurar que involucrará todos sus recursos personales en su consecución. Justamente fue la complejidad de desarrollo y evaluación de este tipo de CAT lo que motivó la búsqueda de un instrumento equivalente, en la mayor medida posible, pero de ejecución y revisión más sencilla para permitir diagnósticos ágiles.

Como aporte a la evaluación de los productos creativos, el instrumento diseñado propone el uso de un recurso valioso y práctico: el patrón de soluciones esperables, elaborado por expertos y utilizable por cualquier revisor con conocimientos básicos de diseño y de aplicación del protocolo de la prueba. También aporta sencillez a los análisis estadísticos necesarios para lograr la valoración de la riqueza de la producción, al proveer una planilla automatizada para cargar los datos y obtener tanto el nivel de riqueza como su composición derivada de la cantidad, diversidad y calidad de las ideas presentes en el conjunto de soluciones alcanzado por los sujetos de prueba. Adicionalmente, permite hacer análisis cualitativos más profundos al proveer información sobre la percepción de espontaneidad en la generación de las soluciones, y también sobre las causas de la invalidez de otras.

Su aplicación a 7 muestras de estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Nacional de Rosario, durante los últimos cuatro años, permitió una primera descripción de las características de esta población, en lo



referente a su comportamiento creativo para diseño conceptual, visto desde este instrumento en particular y sin pretender extrapolarlo a sus capacidades creativas en general.

El interrogante, aún pendiente, es hasta qué punto la riqueza de esta producción creativa, sencilla y restringida a casos de diseño de formas, puede predecir la riqueza de otras producciones creativas en diseño mecánico conceptual. Tanto esta producción teórica como la de un caso real dependen de muchos factores, tales como la complejidad y restricciones del estímulo, el conocimiento previo sobre posibles respuestas, y el tiempo disponible para la generación y la evaluación de las ideas, entre otros.

#### **5.4. Introspección sobre el proceso**

El proceso seguido para lograr las producciones creativas es tan importante como sus parámetros de calidad, cantidad y diversidad, si se pretende comprender y mejorar el modo de pensamiento aplicado. La práctica indica que este proceso inicia a gran velocidad de generación y evaluación, dando cierta sensación de espontaneidad en las ideas, quizás porque provienen del conocimiento previo, aunque no se tenga consciencia de ello. Luego se torna progresivamente más lento en la medida que se involucra intencionalmente al pensamiento vertical en la búsqueda racional de soluciones y al pensamiento lateral en la asociación de ideas, e intentos de ruptura y reestructuración de patrones.

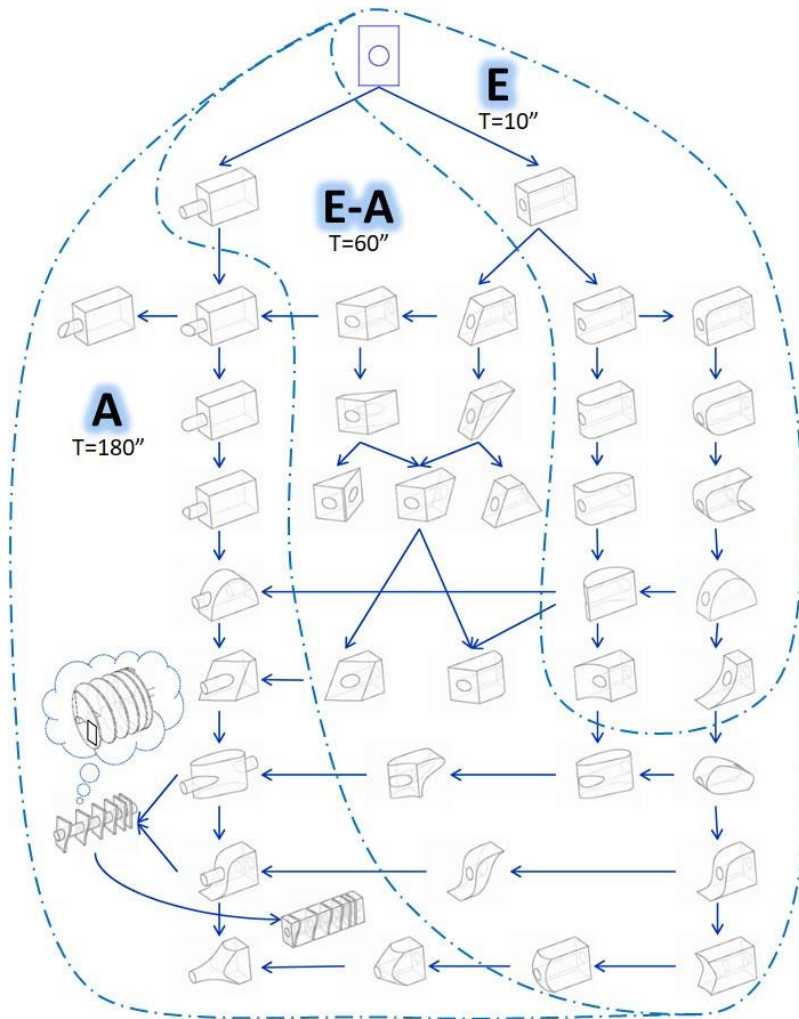
La Figura 6 surge de la introspección del autor que registró su proceso de generación de ideas al construir uno de los patrones de soluciones esperables. Las flechas indican las precedentes y dependientes de cada idea, y las regiones encerradas en líneas discontinuas dan cuenta de tres momentos percibidos subjetivamente como: E (netamente espontáneo), E-A (transición de espontáneo a analítico) y A (netamente analítico), y cronometrados en segundos.

El ejercicio fue enteramente mental, reteniendo las soluciones en la memoria de trabajo. Al notar el primer estancamiento en la generación de ideas, pasados 4 minutos, se suspendió el ejercicio y se procedió al bocetado rápido de las alternativas y sus relaciones. De un total de 40 formas imaginadas, 11 surgieron en 10 segundos de forma netamente espontánea, otras 17 insumieron 60 segundos durante el período de transición entre espontáneo y analítico, y las últimas 12 fueron creadas en 180 segundos de forma puramente analítica. Al menos en promedio, y con la subjetividad de la percepción humana, la velocidad de generación pasó de 0,9 segundos/objeto, a 3,5 segundos/objeto, y concluyó en 15,0 segundos/objeto. Con base en los bocetos, se elaboraron posteriormente los dibujos en un ordenador para aportar claridad y compactar la figura completa. Cabe destacar que las pruebas con el instrumento diseñado implican ambas tareas: imaginar las soluciones y bocetarlas, por lo cual se deben hacer consideraciones y ajustes de tiempo para convertir parte de esta información, generada por un experto, en un patrón de soluciones esperables para un cierto tiempo de prueba.

Las percepciones subjetivas del autor durante este ejercicio dan cuenta de la influencia de factores, incluso casuales, que pueden disparar la generación de ideas en distintas direcciones:

Solicité a un colega que dibuje 5 estímulos en tarjetas separadas y las ubique boca abajo sobre una mesa, de modo que mi elección sea totalmente a ciegas. En la primera mirada al estímulo, su simetría llevó mi atención al círculo central, que inmediatamente percibí como un agujero. Esta sensación persistió durante el período espontáneo y, aunque enseguida surgió un saliente como alternativa al agujero, mi mente siguió aportando ideas al concepto inicial. Finalmente, durante el período analítico, hubo una especie de transferencia o adaptación de todas las ideas basadas en agujeros hacia ideas basadas en salientes, que fluían de manera racional. Buscando innovar visualicé una hélice de paso variable, perforada y atravesada por un eje, y también su pieza conjugada, pero fue algo frustrante constatar que ambos eran casos particulares de los mismos dos patrones previos. Esta evaluación lenta, y desfavorable para mis expectativas, fue la distracción que provocó el primer estancamiento en la generación de ideas, con el que di por finalizado el ejercicio mental. (M.E. Valderrey, comunicación personal, 10 de marzo de 2020)

Figura 7. Registro introspectivo de una generación de ideas



Fuente: Valderrey (2022, p. 22).

## 5.5. Interpretación y utilidad de las pruebas

Estas pruebas tienen una componente sistemática que permite leer las respuestas de los participantes, aplicarles el criterio de calidad para determinar su validez, clasificarlas con ayuda del patrón de soluciones esperables, computar sus cantidades y obtener automáticamente el nivel de riqueza de la producción creativa y su composición coordinadas diversidad y cantidad. Pero también tienen una componente subjetiva que puede conducir a un conocimiento más profundo del proceso creativo. Para ello se requiere interpretar las percepciones de los participantes en cuanto al carácter espontáneo o analítico de sus respuestas, tanto válidas como inválidas, y ahondar en las razones de sus errores, la escasez de sus respuestas o su falta de diversidad. En tal sentido, es el propio sujeto de prueba quien está en mejores condiciones de revisar y criticar su proceso creativo a la luz de los resultados obtenidos, y tomando como referencia el patrón de soluciones esperables, en el cual reconocer sus respuestas y descubrir las que no pudo generar.

Las pruebas adicionales, a la estándar de 10 minutos, mostraron que este instrumento facilita el estudio de la influencia de factores como el tiempo de diseño (cambiando la duración de la prueba), la complejidad del estímulo (reiterando pruebas y variando estímulos) y el conocimiento previo (agregando soluciones preexistentes al estímulo de la prueba).

Las definiciones operativas de las variables, adoptadas para estas pruebas, son importantes para interpretar los resultados. En particular, operativizar la variable "calidad" como binaria focalizó el estudio en la relación entre las variables "cantidad y diversidad" y su influencia en la riqueza. Pero esto es válido solo en casos donde los productos ideados no exhiban distintos niveles de satisfacción del efecto útil deseado. Como el efecto útil se limitó a que la forma del objeto sea compatible con la vista frontal dada como estímulo, es admisible una respuesta binaria: si o no, aceptable o inaceptable. Así se estableció un criterio de "validez" dentro de la "calidad" al que se

sumó otro de “diferenciación” entre soluciones, que es necesario porque al diseñar formas sin otros requisitos funcionales o estéticos hay que decidir arbitrariamente la manera de resolver las semejanzas.

Si consideramos estímulos de complejidad variable, entre los usados en estas pruebas teóricas de diseño de formas y los de casos reales de diseño, adquiere mayor sentido el carácter tridimensional de la riqueza, como función de la cantidad, diversidad y calidad de las ideas. Y podría perfeccionarse la métrica propuesta para incluir los niveles de calidad, respondiendo preguntas similares a las ya hechas para definir la asimetría entre cantidad y diversidad: ¿Si un conjunto de soluciones es escaso en cantidad y diversidad, pero muy elevado en calidad, merece catalogarse como de elevada riqueza?

Nuestra percepción se inclina hacia una respuesta positiva y la justificamos con el caso del famoso físico británico Peter Higgs, citado por Serrano (2022), que en 1964 predijo la necesidad de existencia de una nueva partícula subatómica (el Bosón que lleva su nombre) y cuya comprobación le valió el Premio Nobel de Física en 2013 como uno de los mayores logros de la física moderna. El propio Higgs afirma que fue la única buena idea que jamás ha tenido, habiendo escrito solo 12 estudios en toda su carrera, de los cuales tan solo tres se relacionan con este hallazgo. Este caso ilustra una situación de escasa cantidad y diversidad, donde la calidad impulsa el valor de la riqueza hacia su límite superior.

## 6. Conclusiones

Se considera que el instrumento propuesto en esta investigación, que está en proceso de validación de sus contenidos a partir de las pruebas piloto realizadas, cumple con el objetivo de acercarse a las bondades de una CAT eliminando sus principales limitaciones y que, por tanto, tiene potencial como herramienta ágil de diagnóstico del proceso creativo en ingeniería conceptual.

Por supuesto que el interrogante aún pendiente es hasta qué punto la riqueza medida por este instrumento, a partir de una actividad sencilla de diseño de formas, puede predecir la riqueza de otras producciones creativas en diseño mecánico conceptual. Para responderlo será necesario un arduo trabajo de comparación de resultados de estas pruebas, variando estímulos, duraciones y datos de partida, con los de pruebas CAT, para distintos casos reales, a partir de nuevas investigaciones que tengan alcance correlacional y, posteriormente, explicativo.

Sin embargo, aunque este instrumento esté inspirado en algunas bondades de la CAT, su objetivo no es reemplazarla. Una CAT evalúa la creatividad real de un producto considerando que los expertos en su dominio específico son la mayor garantía de evaluación. Pero el instrumento propuesto compara una producción conocida, generada por expertos, con la alcanzada por los sujetos de prueba para detectar aspectos mejorables en el pensamiento de diseño: el producto en sí mismo no es lo relevante, es solo una excusa útil para observar el proceso.

Se confía en que este tipo de instrumentos, simplificados y particularizados a dominios específicos, constituye un recurso válido que se posiciona entre los derivados de investigaciones que asumen la generalidad o la especificidad del dominio creativo. Además, presenta facilidades para la creación de estímulos y patrones de soluciones esperables, y tiene potencial a futuro para automatizar su revisión por reconocimiento y clasificación de imágenes con técnicas de inteligencia artificial.

## 7. Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Rosario en Argentina y forma parte de la tesis doctoral del autor, dirigida por la coautora y radicada en la Universidad Internacional Iberoamericana de México, “Catalizadores creativos en Ingeniería Conceptual: Habilidades Visuales y Verbales para Diseño Mecánico”.

## Referencias

- Altshuller, G. S. (1984). *Creativity as an Exact Science. The Theory of the Solution of Inventive Problems*. (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781466593442>.
- Amabile, T. M. (1982). Social psychology of creativity: A consensual assessment technique. *Journal of personality and social psychology*, 43(5), 997-1013. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.43.5.997>
- De Bono, E. (1970). *Lateral Thinking. A Textbook of Creativity*. Harper & Row, Publishers.
- Hennessey, B.A., Amabile, T.M. & Mueller, J.S. (2011). Consensual Assessment en Mark A. Runco & Steven R. Pritzker (Eds.), *Encyclopedia of Creativity* (2nd Edition, pp. 253-260). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375038-9.00046-7>
- Huidobro Salas, T. (2004). *Una definición de la creatividad a través del estudio de 24 autores seleccionados*. [Tesis doctoral]. Universidad Complutense de Madrid. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/4571/>
- Laine Pérez, M. C. (2005). La evaluación de la creatividad. *Liberabit – Revista Peruana de Psicología*. 11, 35-39.
- Morales Valiente, C. (2017). La creatividad, una revisión científica. *Revista Científica De Arquitectura Y Urbanismo*, 38(2), 53-62. <https://rau.cujae.edu.cu/index.php/revistaau/article/view/420>
- Mitjans Martínez, A. (1993). ¿Cómo evaluar la creatividad? *Revista Cubana de Psicología*, 10 (2-3), 104-121.
- Nishiyama, J.C. y Requena, C.E. (2019). *Los 40 principios de inventiva de TRIZ: metodologías para el desarrollo de la creatividad en ingeniería*. Libro digital, PDF. EdUTecNe. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/4038>
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J. & Grote, K.H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach*. 3rd Edition, Springer-Verlag London Limited. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84628-319-2>
- Redelinguys, C. (1997). A Model of the Measurement of Creativity. Part I: relating expertise, quality and creative effort. *International Journal of Engineering Education*. 13 (1), 30-41.
- Serrano C. (2022, julio 02). Cómo el bosón de Higgs cambió nuestra comprensión del universo (y por qué le arruinó la vida al físico que lo descubrió). *BBC News Mundo*. Recuperado de: <https://onx.la/d5478>
- Shah, J. J., Vargas-Hernandez, N., & Smith, S. M. (2003). Metrics for measuring ideation effectiveness. *Design Studies*, 24(2), 111-134. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(02\)00034-0](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(02)00034-0)
- Tang, H. H. and Gero, J. S. (2002) A cognitive method to measure potential creativity in designing, in C Bento, A Cardoso and G Wiggins (eds). *Workshop 17 - Creative Systems: Approaches to Creativity in AI and Cognitive Science*, ECAI-02, Lyon, pp. 47-54
- Valderrey, M. E. (2022). Experiencias áulicas en Síntesis de Mecanismos y Máquinas – Universidad Nacional de Rosario – Apéndice 1: Imágenes. <https://onx.la/99d3e>
- Vargas Hernandez, N., Okudan, G. E., & Schmidt, L. C. (2012). Effectiveness Metrics for Ideation: Merging Genealogy Trees and Improving Novelty Metric. *Proceedings of the ASME 2012 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. Volume 7: 9th International Conference on Design Education; 24th International Conference on Design Theory and Methodology*. Chicago, Illinois, USA. August 12–15, 2012. pp. 85-93. ASME. <https://doi.org/10.1115/DETC2012-70295>