

Paper - Comunicación

Preguntas que nos acechan: el caso del icosaedro ortogonal de Jessen

Muñoz, Patricia Laura

patricia.munoz@fadu.uba.ar

Universidad de Buenos Aires. Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Instituto de la Espacialidad Humana. Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave

Investigación, Morfología, Diseño, Medios Digitales, Jessen.

Resumen

Por lo general, en nuestros proyectos de investigación, las preguntas nos acechan. A lo largo de nuestro vínculo con la Morfología, tanto en la investigación como en la docencia, nos encontrábamos con aquello que desconocíamos y que queríamos explorar. Nos conectaba con la curiosidad, el desafío y también con la necesidad de ampliar y profundizar nuestro conocimiento. Así, las preguntas se convirtieron en el motor que puso en marcha el desarrollo de planes, metodologías e indagaciones en la búsqueda de esas respuestas.

En esta ocasión, compartiré algunas de las que me acechan en estos tiempos. Surgieron a partir del trabajo de un escultor y matemático, Rinus Roelofs (2022), sobre el Icosaedro Ortogonal de Jessen. Ya el nombre de este poliedro generaba preguntas básicas. Sin embargo, persistieron obstinadamente otras, más vinculadas a la actividad académica y profesional. Hace ya unos años que investigamos la posibilidad de ampliar y actualizar temas de morfología, a partir del uso de recursos digitales y su combinación con los analógicos. En este

contexto, este poliedro, estudiado por Jessen en 1967 y abordado en la actualidad con fabricación digital por Roelofs, podía ser una forma interesante para explorar en su complejidad con medios digitales. También, era una oportunidad de poner a prueba el concepto de lectura de una forma, desarrollado por Doberti (2008), como estrategia para encarar su estudio y sus posibilidades morfogenéricas. ¿Podría aplicarse el concepto de lectura del cubo para estudiarlo, ya que lo inscribe? Si todos sus ángulos formaban 90 grados entre sí, ¿podían emplearse encastrados tradicionales de carpintería para incorporarlos al área de mobiliario? Por sus posibilidades de construirse a partir de un desarrollo plano, ¿es una forma viable para incorporar al packaging? Este trabajo está en desarrollo, pero podemos compartir algunas respuestas y también, las nuevas preguntas que surgen de este avance.

Introducción

Cada investigación en morfología es un cuestionamiento sobre una forma, o sobre uno de sus aspectos, o sobre sus relaciones, ya sean entre sus partes o con otras. Estas preguntas nos rodean, nos interpelan, nos acechan y nos mueven a la acción. A veces la respuesta surge en un tiempo acotado y ordenado: uno explora, desarrolla indagaciones y llega a construir un saber sobre lo que se desconocía. Otras, uno transita esa secuencia en sucesivas instancias imprevistas. Se avanza hasta un punto. Parece ya resuelto, o imposible de resolver. Pero estas inquisiciones vuelven a encontrarnos tiempo después. En ese intervalo la tecnología progresó, un tema encuentra una convergencia con otra línea de exploración, y nosotros también crecimos en nuestra capacidad para investigar. Por todo esto, volvemos a encarar aquellas viejas preguntas y sus derivaciones y seguimos avanzando. Esta es la secuencia que ha signado nuestro trabajo de investigación en los últimos veinte años, siendo un proceso que inevitablemente se repite. Cabe aclarar que nuestro objeto de estudio se refiere, fundamentalmente, a las formas vinculadas a la producción de objetos materiales, en el área de diseño industrial.

Preguntas sobre un poliedro

En el marco del proyecto de investigación [1], que vincula las tecnologías informáticas con la morfología y sus posibilidades de transformación, encontramos el trabajo de un escultor y matemático, Rinus Roelofs (2022) sobre el Icosaedro Ortogonal de Jessen. Ya su nombre despertaba ciertas preguntas básicas: ¿Cuál era el vínculo con el icosaedro regular? ¿Sería

posible que un icosaedro tuviera todos sus ángulos a noventa grados? ¿Quién fue Jessen? ¿Cuándo apareció por primera vez esta forma?

Desde estas preguntas fuimos conociendo esta maravillosa configuración. Es un poliedro, un volumen limitado por veinte triángulos: ocho de ellos son equiláteros y doce son isósceles. Los últimos parecerían surgir de una sustracción del icosaedro regular, por ángulos diedros rectos, aunque no es exactamente así. Esta forma tiene otra particularidad: es relativamente flexible y, sin cambiar el largo de sus aristas ni las dimensiones de sus caras, puede transformarse de modo continuo hasta aproximarse a un octaedro.

Børge Jessen (1967) lo presentó como el Icosaedro Ortogonal en el contexto de una indagación sobre todos los posibles poliedros y superficies poliédricas cerradas que pudieran considerarse ortogonales. Rinus Roelofs (2022), matemático y escultor, expandió estas indagaciones, vinculándolas a la fabricación digital, en particular con el empleo de corte láser. Esta vinculación es pertinente ya que esta tecnología corta el material laminar perpendicular a su superficie, propiciando uniones ortogonales entre piezas, facilitando así la construcción de modelos que simplifican la experimentación. Más allá de esta posibilidad de materialización, extendió su exploración a construcciones modulares ortogonales y las correspondientes tramas bi y tridimensionales. Este primer acercamiento a la temática propició el surgimiento de preguntas más específicas, vinculadas a la actividad académica y profesional del diseño industrial. En ese campo no encontrábamos respuestas, sino que debían construirse a partir de la investigación.

Durante varios años indagamos la posibilidad de ampliar y actualizar los conocimientos morfológicos a partir del empleo de medios digitales, combinados con los analógicos. Un claro ejemplo de la potencia de estas investigaciones fue aquella en la que exploramos el concepto de Líneas espaciales (Muñoz et al, 2010). En ella se vincularon saberes tan antiguos como los desarrollados por Arquitas de Tarento (430-350AC) con herramientas relacionadas con la fabricación digital y de programación visual, en particular con la aplicación del software Grasshopper. Esta investigación tuvo diversos saltos temporales, al llegar a puntos muertos que fueron resueltos con la evolución de los recursos informáticos aplicados al diseño. Finalmente, los resultados fueron valiosos y pudieron transferirse satisfactoriamente a la enseñanza de morfología, como un nuevo contenido curricular.

Considerando las experiencias previas, de recuperar exitosamente conocimientos pre-digitales para su indagación con los diversos instrumentos disponibles en la actualidad, decidimos explorar las posibilidades de producción morfológica a partir de este complejo poliedro. Para ello, utilizamos recursos virtuales y materiales, tanto para su manipulación espacial como para su materialización en el marco del proyecto de investigación actual (UBACyT 20020190100303BA).

El concepto de lectura

El concepto de lectura de una forma, de su interpretación, desarrollado por Doberti (1977, 2008) fue central desde el inicio de nuestras investigaciones y como así también en la docencia, manteniendo su vigencia.

Doberti plantea que el concepto de forma está constituido por la interacción de tres factores: la disposición física, los instrumentos y el contexto global. Por lo tanto, no se limita a sus aspectos materiales y espaciales. Su comprensión y producción está posibilitada y condicionada por los instrumentos –conceptuales y operativos- para construirlas. El contexto global convalida a través de un sistema de valores y de relaciones el conocimiento morfológico significativo para una cultura. Desde este punto de vista, la forma es una construcción, una interpretación de una disposición física a través de los instrumentos disponibles para comprenderla y generarla, con relación a su validación en su contexto.

En el caso de las formas abstractas, el ejemplo más evidente y sorprendente de la comprensión de una forma como síntesis de oposiciones que instituye una lectura es el del tetraedro (Doberti, 1977:7). Las lecturas que se organizan a partir de la oposición base-vértice y aquella que se funda en la ortogonalidad de las aristas en planos paralelos brindan información valiosa y notablemente diferenciada sobre una misma forma geométrica. Esto es esencial para conocer con profundidad dichas configuraciones y así proyectar con mayor fundamento con ellas. Así como nuestro potencial proyectual se vería seriamente comprometido si contáramos solamente con la posibilidad de emplear un solo sistema de registro y prefiguración, como la perspectiva caballera; del mismo modo nuestra capacidad para diseñar produciendo transformaciones y operaciones sobre figuras geométricas se vería también muy reducida.

En el ámbito académico, en los tres cursos de grado de Morfología, en la carrera de Diseño Industrial, en la FADU, UBA, el concepto de lectura de una forma ha sido central en distintas prácticas ya que permite organizar estrategias para operar sobre diferentes configuraciones y ampliar las posibilidades generativas de los estudiantes. Esto se evidencia en la producción colectiva de un apunte de cátedra (Cátedra Muñoz, 1996) y en la asignación de este tema como tópico generador en los tres niveles de la asignatura en los años 2005 y 2023, abordándolo desde las temáticas específicas de cada nivel.

En dichos cursos, empleamos la misma configuración de base para generar nuevas propuestas. Planteamos distintas acciones, diferenciadas de acuerdo al momento en el proceso de conocimiento morfológico existente en cada nivel. La forma de origen fue el cubo, figura regular, homogénea, presente en nuestra realidad construida, reiterada en la triortogonalidad materializada hasta el cansancio. Se la desdobló en cuatro lecturas básicas que ordenaron, propiciaron y promovieron la generación más de trescientos proyectos distintos. Estas interpretaciones se manifestaban a partir de la asociación y oposición entre las caras del cubo, pero también podían manifestarse con otros elementos de su estructura abstracta.

Si bien es un tema que también ha estado presente en nuestras investigaciones, no ha sido abordado como un instrumento de indagación sobre una forma. En esta oportunidad, nos preguntamos si podríamos recuperar las lecturas del cubo y transferirlas al poliedro de Jessen, inscripto en él, para emplearla con un rol organizativo de la exploración. Asimismo, intuimos que sería posible aplicarlas como estrategias generativas de distintas concreciones del mismo. De este modo, la relación abstracto / concreto y la noción de identidad de una forma estarían presentes con mucha intensidad en las diferentes producciones.

Primeras concreciones

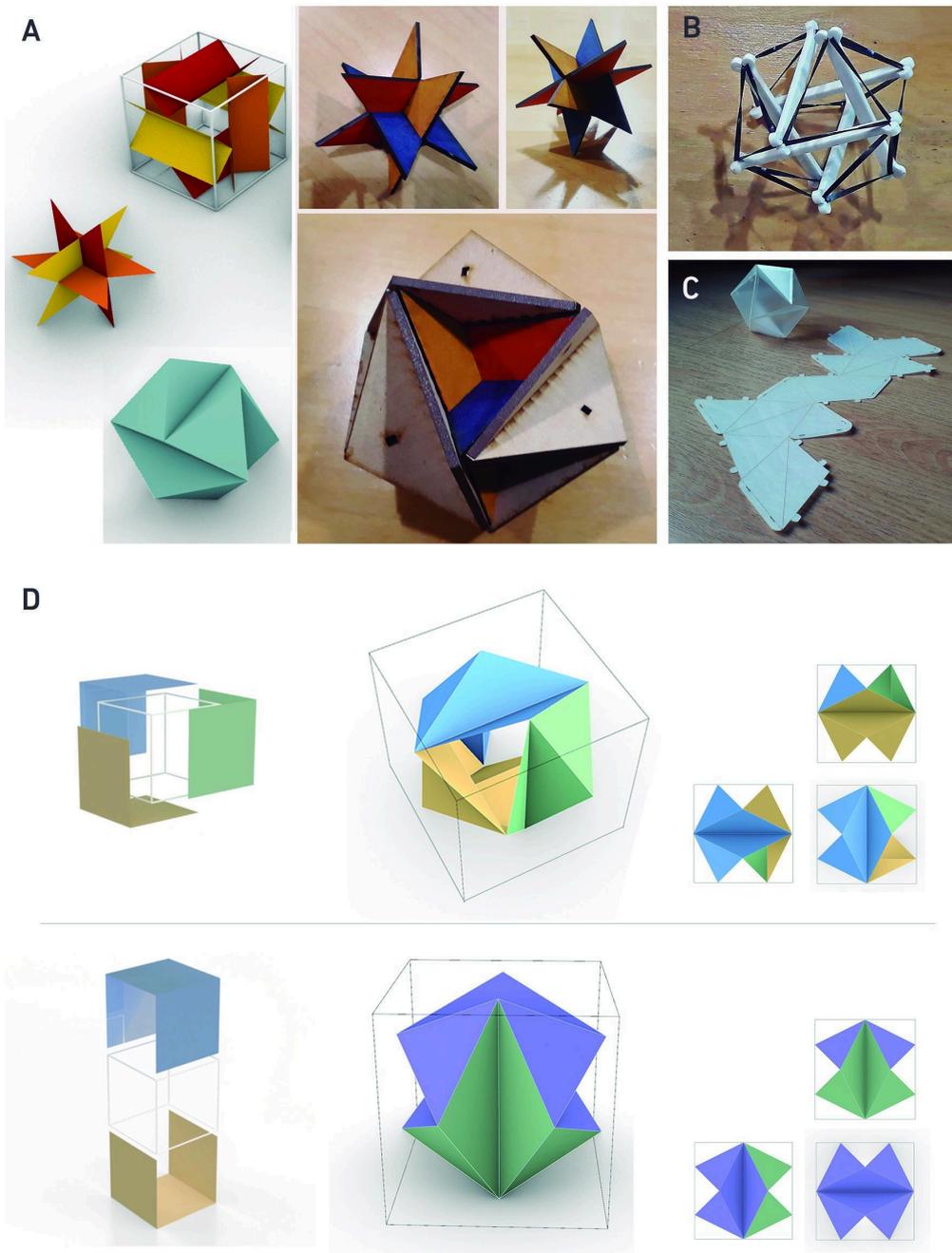
En un principio replicamos el modo de concretar el poliedro en fibrofácil con corte láser, tal como lo había realizado Roelofs. Fue interesante ajustar las piezas para resolver los vértices donde se intersectaban las placas, con su correspondiente espesor.

Luego, a partir de la inscripción del icosaedro ortogonal en el cubo, surgió la posibilidad de materializar los planos medios del cubo, intersectados con el poliedro (Figura 1A). También se concretaron los pares de planos triangulares isósceles. Como todas las uniones eran ortogonales, fue sencillo diseñar los encastrés para que surgieran del mismo corte de las piezas. En esta propuesta, la ortogonalidad del poliedro de Jessen se hace evidente y se jerarquizan los triángulos isósceles al materializarlos y dejar huecos los equiláteros.

La relación de los pares de líneas paralelas que surgen de la intersección de los diedros triangulares nos llevó a preguntarnos sobre su vinculación con el icosaedro de tensegridad (Figura 1B). Si reemplazamos estos pares de líneas paralelas por barras rígidas y mantenemos las uniones entre las mismas con elásticos, obtenemos esta estructura, estudiada por primera vez por Buckminster Fuller en 1949 (Fuller, 1973).

Otra materialización, más homogénea, se realizó a partir del corte y marcado de una lámina de polipropileno translúcido (Figura 1C). Si bien el tratamiento de la forma no jerarquizaba ningún elemento, su translucencia permitía detectar con claridad el giro de las caras equiláteras en planos paralelos. Es un material pertinente para esta clase de concreciones, ya que produce plegados del tipo de bisagra viva y así también incorpora los elementos de unión en el corte.

Figura 1. Concreciones del Poliedro de Jessen: A. Construcción a partir del cubo privilegiando los planos medianos; B. Icosaedro de tensegridad, que materializa con elementos rígidos los tres pares de líneas ortogonales entre sí y reconstruye los otros lados del icosaedro ortogonal con elásticos; C. Desarrollo plano: corte y marcado láser sobre polipropileno; D. Ejemplos de la transferencia de dos lecturas del cubo sobre la forma estudiada.



Autor: Patricia Muñoz

Lecturas del cubo y del poliedro de Jessen

Las lecturas de una forma geométrica pueden producirse a partir de la asociación y oposición entre elementos de su estructura abstracta: caras, vértices, líneas, planos, entre otros. Para incorporar el concepto de lectura como estrategia de análisis y generación de formas, seleccionamos las 4 lecturas principales del cubo por agrupamiento de caras contiguas y las aplicamos sobre el poliedro de Jessen inscrito en él. Estas son: dos triedros,

tres diedros, dos U, cinta con dos tapas. Dos de estas implementaciones se muestran en la Figura 1D. Esta actividad permitió comprender diferentes maneras de interpretar al poliedro y de reconocer sus oposiciones espaciales. Se produjeron particiones que se materializaron primero en papel plegado y luego en impresión 3D, incorporando imanes como unión. Asimismo, los módulos obtenidos permitían obtener nuevas formas al realizar reagrupamientos diversos, modificando las caras de contacto y su dirección.

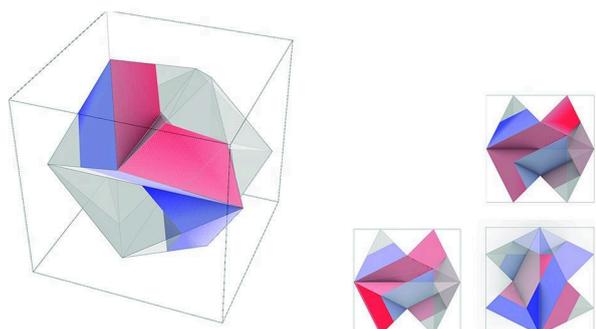
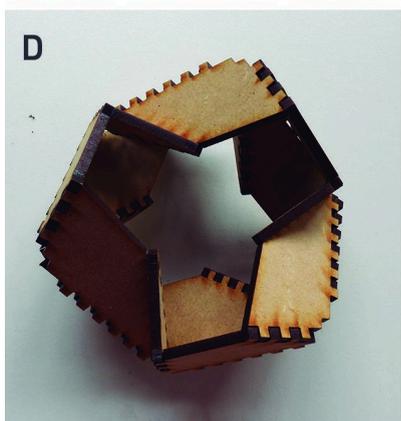
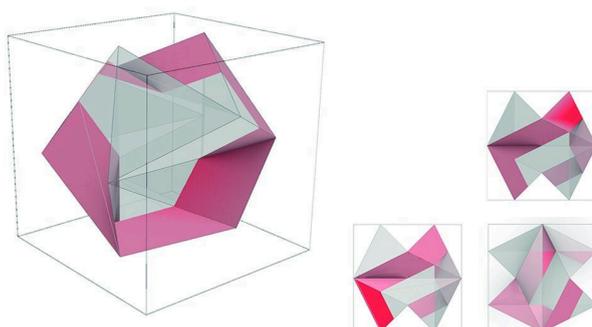
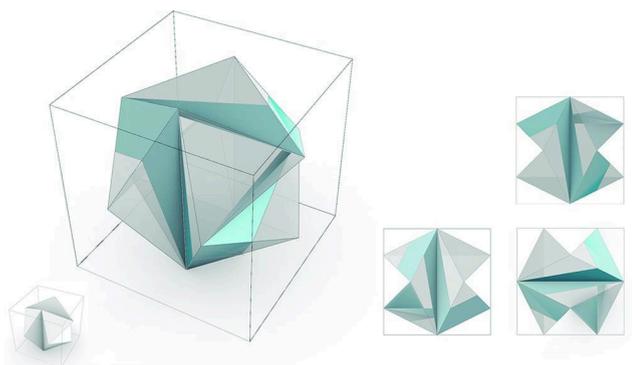
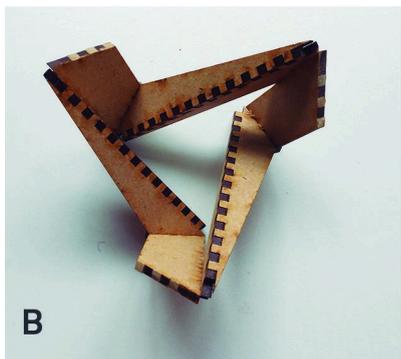
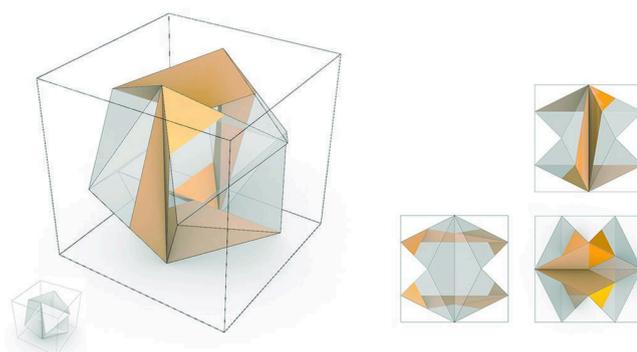
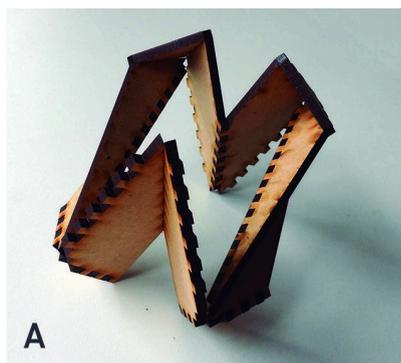
Líneas espaciales

Si bien las líneas espaciales requieren continuidad para considerarse una figura, perceptualmente podemos privilegiar la direccionalidad del recorrido que propone una forma articulada y entenderla como perteneciente a esa tipología. Nos preguntamos si sería posible definir estas líneas compuestas por recortes de caras. Algunas de las propuestas que desarrollamos pueden verse en la Figura 2, apoyadas en las lecturas previamente establecidas.

Fue muy interesante descubrir la diversidad de propuestas de líneas espaciales que parecían alejadas de la ortogonalidad por las relaciones de oblicuidad que presentaban a la vista, aunque las uniones de sus partes fueran siempre a 90 grados. Varias de estas líneas permitían apoyos sobre el plano a partir de tres puntos (todas las de la Figura 2), que les otorgaba estabilidad para poder pensarlas en productos, por ejemplo, como bases para mesas.

La línea espacial de la Figura 2A se organiza a partir de la lectura de cinta con dos tapas, basada en la oposición de los dos diedros que se apoyan en caras opuestas del cubo que lo inscribe. La figura 2B se origina en la lectura de dos triedros, manifestando uno de ellos. La bipartición del icosaedro ortogonal de Jessen originó la línea de la figura 2C, conformándola con sectores de las caras con dirección a uno de los vértices. Si tomamos también fragmentos de las caras en la otra dirección obtenemos la línea de la figura 2D.

Figura 2. Cuatro ejemplos de líneas espaciales, organizadas por las lecturas del cubo que inscribe al poliedro: A. línea generada por la lectura de cinta con dos tapas; B. línea generada por la lectura de dos triedros; C. línea alternativa a la lectura de dos triedros, a partir de la bipartición de la figura hacia uno de los vértices del par opositivo; D. línea compuesta generadas desde la bipartición, hacia ambos lados vértices opuestos.

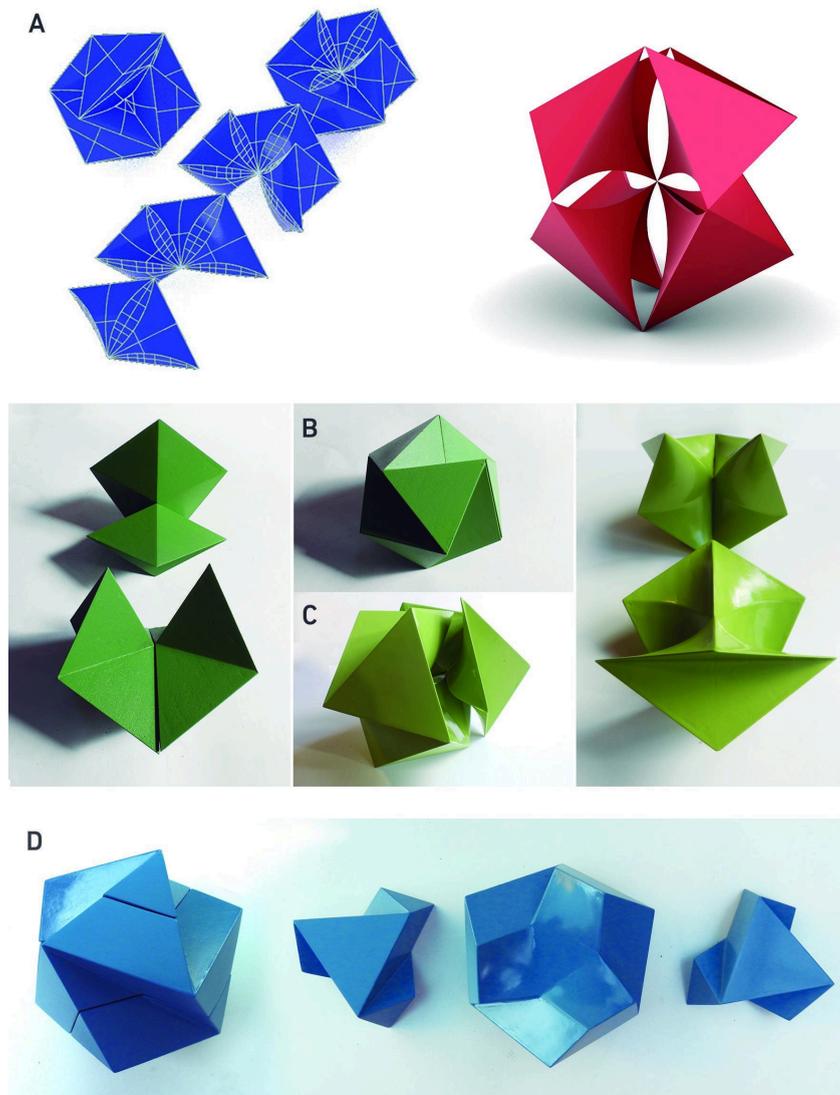


Autor: Patricia Muñoz

Rompecabezas curvos

Las particiones emergentes de la transferencia de las lecturas del cubo sobre el poliedro de Jessen permitieron el diseño de diferentes rompecabezas, con interiores compuestos por planos articulados que convergen en un punto central. A partir de ellos surgió la inquietud de desarrollar alternativas que presentaran superficies curvas en el interior, opuestas al exterior plano. Nos preguntamos si sería posible trabajar con plegado curvo y obtuvimos algunos resultados interesantes (Figura 3A). Estas formas eran desarrollables, podían producirse por el plegado, curvo y recto, de una lámina.

Figura 3. Particiones: A. con elementos producidos por plegado curvo; B y C. particiones organizadas según la lectura de dos úes, con interior formado por caras planas y con superficies espaciales; D. partición a partir de la lectura de dos triedros, con interiores compuestos por superficies curvas.



Autor: Patricia Muñoz

Luego tomamos una de las particiones planas (Figura 3B) y avanzamos con el diseño de superficies con diferente grado de continuidad y realizamos los modelos tridimensionales por impresión 3D con imanes (Figura 3C). Esto no solo permitió la actividad lúdica de volver a armar el poliedro sino que, al igual que en el caso de los interiores de caras planas, habilitaba la generación de nuevas formas por combinaciones diversas de los sectores emergentes de las particiones. El contraste curvo/recto, incorporó un elemento de tensión que enriqueció la producción. Asimismo, en una de las propuestas, se mantuvo un sector central con muy poca curvatura que mostraba la alternancia triángulo, hexágono, triángulo invertido, característico de este poliedro en una de sus lecturas. La instancia triangular puede apreciarse en la figura 3D.

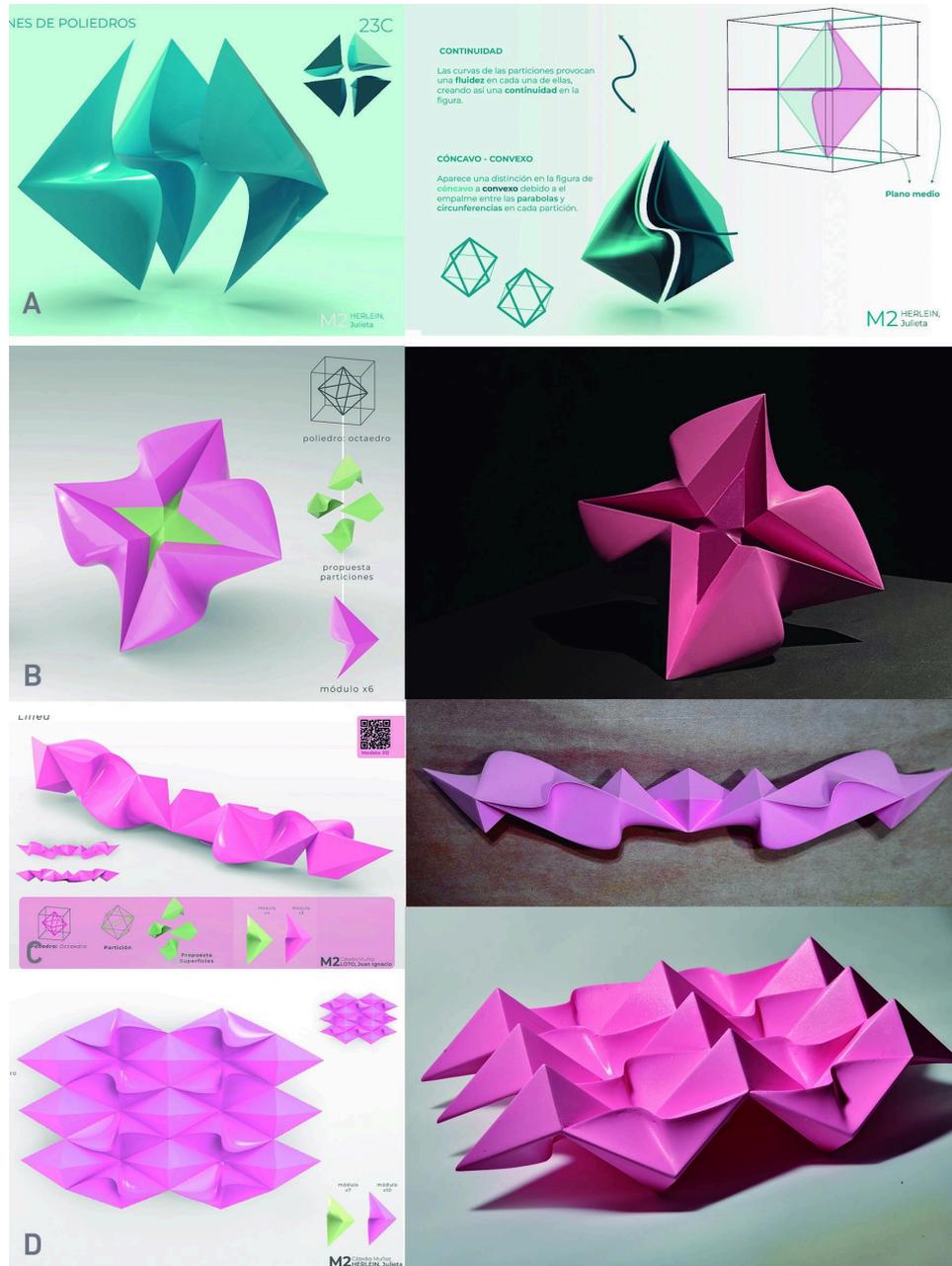
La síntesis de lo recto y lo curvo en los módulos emergentes de la partición manifiestan la inmensa posibilidad de la forma de sintetizar conceptos aparentemente incompatibles en una sola entidad. Como plantea Doberti (2003):

“La forma, la fecunda, necesaria e inagotable forma es capaz de contener y mencionar lo recto y lo curvo, de manera tan precisa y sorpresiva que se diría mágica. La forma, extendida en el espacio, diciendo el espacio, muestra para nuestra maravilla ambos registros de lo sensible, muestra para nuestra maravilla las variaciones que la lectura de la forma otorga a uno y otro registro”.

Transferencias a la enseñanza

La indagación sobre las particiones que sintetizaban el lenguaje de lo curvo y lo recto, como así también las posibilidades generativas que detectamos en esta exploración, propició que diseñáramos una práctica relacionada con ella para el curso Morfología 2, Cátedra Muñoz, de la Carrera de Diseño Industrial, FADU, UBA. Uno de los contenidos de la asignatura es el de poliedros. Como el icosaedro ortogonal de Jessen combina sectores cóncavos y convexos, con una complejidad que podía ser un obstáculo para el aprendizaje, decidimos que los estudiantes trabajaran con una selección de poliedros regulares y semirregulares. Desde la definición de particiones, que surgían de la transferencia de las lecturas del cubo al poliedro elegido, diseñarían formas que tuvieran interiores curvos y exteriores poliédricos. En una segunda instancia estos módulos, en diferentes modos de organización, producirían distintos agrupamientos con crecimiento equivalente en las tres direcciones (diseñando un hito), lineal (proyectando una columna o fila), o superficial (en el desarrollo de paneles). Fue un trabajo muy rico e interesante. Algunas de las producciones pueden verse en la Figura 4.

Figura 4. Propuesta del grupo de estudiantes (Julieta Herlein, Juan Ignacio Loto y Ayelén Szulewicz): A. Partición sobre un octaedro empleando superficies espaciales para definir las zonas interiores; B. Propuesta de crecimiento homogéneo en tres direcciones; C. Propuesta de crecimiento lineal; D. Propuesta de crecimiento superficial.

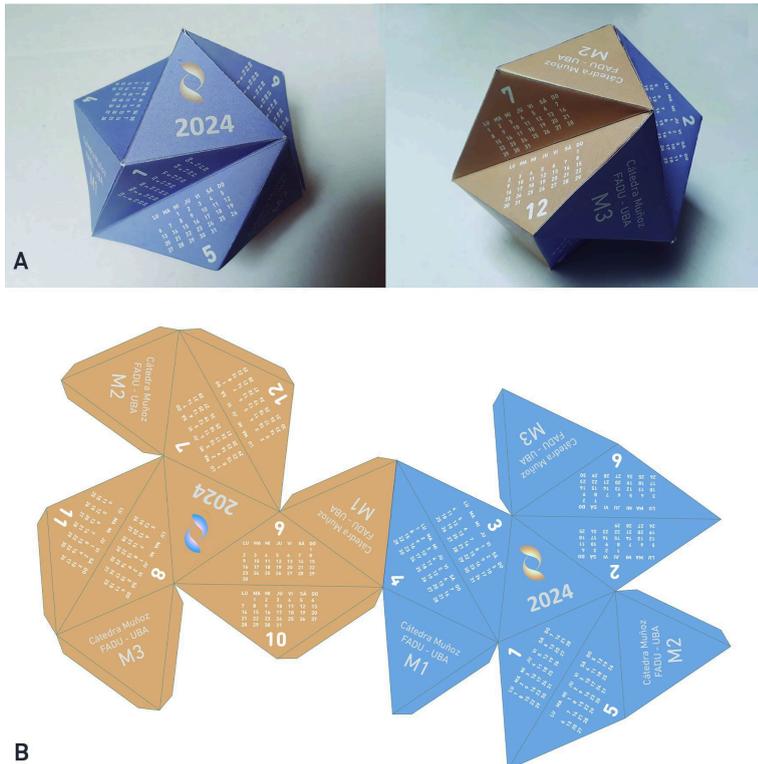


Fuente: Cátedra Muñoz. Estudiantes Julieta Herlein, Juan Ignacio Loto y Ayelén Szulewicz. Docente: Agustina Ocantos

Productos

La pregunta sobre la posibilidad de incorporar elementos de esta investigación a productos nos alcanzó. A partir de estas producciones realizamos dos calendarios, 2023 y 2024, con una bipartición del poliedro de Jessen que organizaba los dos semestres que componen el año. Lo compartimos con los estudiantes como un archivo que podían imprimir y plegar (Figura 5).

Figura 5. Modelo armado y desplegado del Calendario 2024 diseñado sobre el poliedro de Jessen



Queda pendiente el desarrollo de elementos de mobiliario, ya que entendemos que la simplicidad constructiva, al ser todos encuentros entre partes a 90 grados, combinada con la posibilidad de concretar formas complejas, de interés visual, lo ubica como un área que vale la pena explorar. Pueden combinarse, por ejemplo, diferentes maderas que sumarían también otra calidad a los objetos terminados.

Derivaciones y conclusiones

No es novedosa la relación entre la pregunta y la construcción de conocimiento. Ya desde la antigüedad, se emplea la pregunta -en sus distintas modalidades- como un medio que subyace a los métodos filosóficos. Asimismo, en el campo didáctico constituye un instrumento que facilita la comprensión, llegando a ser central en algunas propuestas pedagógicas (Freire et al., 2013).

Nos resulta interesante la concepción de Grisales (2012, p.124) cuando plantea: "...la pregunta guarda el sentido de ser un medio, como una sonda, mediante la cuál se puede buscar algo en la profundidad, siendo esta búsqueda una búsqueda intencionada, en tanto se trata de un tanteo, que se hace con cautela y habilidad para descubrir lo que está oculto. Pero a la vez, la pregunta guarda también el sentido del método, que resulta ser el camino para llegar a la profundidad de las cosas".

Cada una de estas instancias del recorrido, que acabamos de relatar, estuvo acompañada de preguntas, que nos encontraron al transitar las exploraciones. Pudimos comprobar el valor del concepto de lectura como medio de indagación sobre una forma y como estructura que organiza sus posibilidades generativas. Pero también, cada respuesta abría una secuencia de nuevos interrogantes que se convertían en el motor de sorprendentes búsquedas. Este es un trabajo en desarrollo y aún nos acechan diversas preguntas que rondan tanto la comprensión de las posibilidades morfogenerativas del poliedro de Jessen como su relación con los medios digitales y su transferencia a productos de diseño. Entendemos que esta es la base para seguir buscando esas respuestas.

Bibliografía

Cátedra Muñoz. (1996). Apunte: Lecturas y modos de concreción. Recuperado de <https://www.plm.com.ar/academico/general/indocu.html>

Cátedra Muñoz. (2005). El tiempo en el cubo. Tres momentos de comprensión. En el libro y CD de *Resúmenes del Congreso de SEMA*. Chaco: Ed. SEMA

Doberti, R. (1977). La morfología: un nivel de síntesis comprensiva. *Summarios* 9/10, pp.2-11

Doberti, R. (2003). *Catálogo de la exposición Forma y Geometría. Dialéctica de lo recto y lo curvo*. En el Museo de Arquitectura, Marq. CABA: Laboratorio de Morfología.

Doberti, R. (2008). *Espacialidades*. Buenos Aires: Ed. Infinito.

Freire, P. y Faundez, A. (2013). *Por una pedagogía de la pregunta. Crítica a una educación basada en preguntas inexistentes*. Buenos Aires: Ed. Siglo XXI

Fuller, R.B. (1973). *The Dymaxion World of Buckminster Fuller*. Nueva York: Anchor Books

Grisales, L.M. (2012). La pregunta didáctica en la enseñanza universitaria: una síntesis para la comunicación y la comprensión del sentido de los saberes. En *Revista Praxis* N° 8, pp. 118-137. ISSN:1657-4915. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5907278.pdf>

Jessen, B. (1967). Orthogonal Icosahedron. *Nordisk Mat. Tidskr.*15, 90-96

Muñoz, P. et al. (2010). *Líneas espaciales*, Buenos Aires: Ed. De la forma

Roelofs, R. (2022). Polyhedra with 90° Dihedral Angles. En *Bridges Conference Proceedings 2022*. Recuperado de <https://archive.bridgesmathart.org/2022/bridges2022-33.pdf>

Weisstein, Eric W. (s.f.) Jessen's Orthogonal Icosahedron. Recuperado de [MathWorld--A Wolfram Web Resource.](https://mathworld.wolfram.com/JessensOrthogonalIcosahedron.html) <https://mathworld.wolfram.com/JessensOrthogonalIcosahedron.html>