

10 | Ron Resch. Patrones de doblado. El diseño topológico desde la geometría computarizada. Ron Resch. Bending Patterns. The Topological design from computerizes geometry _Fernando G. Pino

El doblez como consecuencia del patrón geométrico

El doblez proyectado es indisoluble de la geometría que lo hace posible. Si se quiere establecer un claro control sobre el doblez, es decir “planificarlo”, es necesario realizar un documento proyectivo, un plano; o, dicho de otro modo, establecer una secuencia de acciones coordinadas en un orden temporal concreto que nos darán como consecuencia el objeto finalmente plegado. Es por eso que los asuntos ligados a la geometría y al control matemático de los patrones de doblado han estado siempre presentes en la definición de este tipo de diseños. La geometría en la arquitectura no solo ha significado el control dimensional necesario previo a la construcción pura del hecho arquitectónico, sino que también ha supuesto el establecimiento de las leyes de ordenación ligadas al equilibrio y la armonía de las formas. Para entender mejor el modo en que nos aproximaremos a la importancia del modelo científico de investigación de Ron Resch con el doblez, y su precursora manera de trabajar con el ordenador, es obligado ver brevemente, a modo de preámbulo, el modelo de enseñanza y de pensamiento experiencial propuesto por Josef Albers en su método docente, al que Ron Resch accedió a través de su relación con Buckminster Fuller. [1]

Los trabajos docentes ¹ del “laboratorio” de Albers tendrán gran influencia en aquellos centros en los que imparte su docencia y se harán visibles como parte de la atmósfera construida de los espacios de dichas universidades. El joven Ron Resch accede a estos trabajos a través de las reuniones mantenidas con Fuller en el Black Mountain Collage, en las que le mostraría sus trabajos sobre estructuras teseladas. [2]

El método de enseñanza de Albers, basado en la exploración y en el “des-conocimiento” previo como herramienta de búsqueda de la construcción experiencial, dio frutos notables entre sus alumnos ². Albers creía en el descubrimiento que se produce a través de la experiencia, basado en la construcción de la misma y no en la asimilación de la experiencia de otros. “Honrar a los maestros de manera creadora es competir con su actitud más que con sus resultados, seguir un entendimiento artístico de tradición, esto es, crear, no revivir” ³. En su método, la eliminación del conocimiento previo y del uso de las herramientas conocidas hace mirar el material y su manipulación como algo por descubrir desde la acción. Un aprendizaje de prueba y error, de desarrollo del sentido crítico, en el que la restricción obliga a pensar desde la manipulación y la experiencia práctica, centrándose en el proceso y en la construcción del pensamiento ⁴.

Ya desde sus cursos en la Bauhaus plantea sus ejercicios con papel, en los que se trabaja con el material en un sentido único y experiencial. Albers denomina el “fuera” como aquello

[1]



Resumen pág 71 | Bibliografía pág 77

Universidad Politécnica de Madrid, IE University y Universidad de Nebrija. Fernando G. Pino, Doctor Arquitecto por la Universidad Politécnica de Madrid. Colabora 5 años con Mansilla y Tuñón. Trabaja con Juan Navarro Baldeweg. Bajo su tutela asume las responsabilidades de líder de equipo de proyecto en concursos y obras nacionales e internacionales hasta 2009. Desde 1999, trabaja junto a Manuel G. Paredes y en 2001 forman su propia oficina, Paredes Pino Arquitectos. Ha recibido numerosos premios en concursos públicos abiertos que han marcado su trayectoria. Su trabajo se recoge en publicaciones de todo el mundo y en la monografía Excepto 24 “Maquinaria Ligera”. Es profesor asociado de Proyectos en el DPA de la ETSAM desde 2003, profesor asociado de Proyectos en la Escuela de Arquitectura IE University desde 2010 y profesor de Metodología del diseño y Proyectos de Diseño Industrial en la Universidad Nebrija desde 2012. Premio de Investigación 2016 Bienal Española de Arquitectura y Urbanismo por el trabajo V100A Live 100 Years Longevity and Future City. Premio Extraordinario de la Universidad Politécnica de Madrid por su tesis doctoral: “DobleZ Múltiple. La Embajada de Finlandia en New Delhi. Railii y Reima Pietilä”. fergarpino@icloud.com

Palabras clave

Ron Resch, doblez y geometría, patrón de doblado, sistemas geométricos, sistemas combinatorios, sistemas topológicos, teselación, geometría computacional, Josef Albers, Greg Lynn, diseño paramétrico

Keywords

Ron Resch, bending and geometry, bending pattern, geometrical systems, combinatory systems, topological systems, tesellation, computational geometry, Josef Albers, Greg Lynn, parametric design

Método de financiación

Financiación propia

DOI

10.24192/2386-7027(2020)(v13)(10)

[1] En 1925 coincidiendo con el traslado de la Bauhaus de Weimar a Dessau el artista, diseñador, fotógrafo, tipógrafo y poeta alemán Josef Albers entra a formar parte del profesorado de la escuela en su curso preliminar. Albers nacido en Westfalia y con formación como artista en Berlín había sido también alumno de la Bauhaus por lo que conocía desde dentro tanto, los sistemas metodológicos de la misma, como las carencias que sentía como alumno en el modelo de enseñanza recibido. Izquierda: Josef Albers enseñando en el Black Mountain Collage 1946. Fotografía: Genevieve Naylor. Fuente: website.blackmountaincollege.org Derecha: Josef Albers enseñando en College for Design en Ulm. 1954. Fotografía: Hans G. Conrad. Fuente: website.museumulm.de

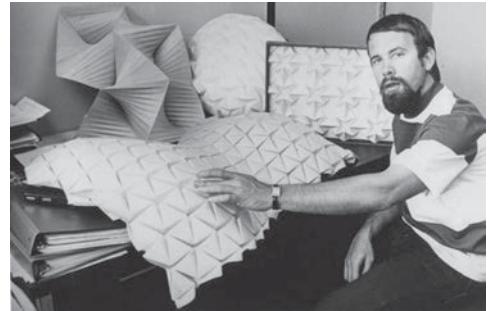
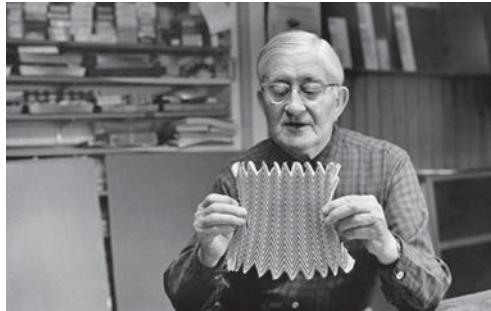


[2]

[2] Izquierda: Buckminster Fuller y Ron Resch en Black Mountain Collage. Fuente: Ron Resch website gallery. Derecha: Josef Albers con estudiantes y un gran doblado de papel al fondo del aula. Universidad de Yale 1955-56. Fotografía: John Cohen. Fuente: website.researchgate.net

[3] Josef Albers en su casa de Connecticut, USA, 1968. Fotografía: Henri Cartier-Bresson. Fuente: website.researchgate.net (Magnum Photos)

[4] Ron Resch en su mesa de trabajo posando con sus modelos tridimensionales en papel, coincidiendo con el rodaje de *Paper and Stick*, 1970. Fuente: Ron Resch website gallery.



[3]

[4]

¹ Josef Albers estará ligado a la docencia hasta su jubilación en Norteamérica en la universidad de Yale de la que será director del departamento de arte de 1950 hasta 1958. Antes será la universidad de Carolina del Norte, Black Mountain College (1933-1949), reconocida por la figura de su ilustre profesor Buckminster Fuller, la que le abrirá sus puertas.

² En el Black Mountain College Josef Albers será profesor de reconocidos artistas como: John Cage, Donald Judd, Susan Weil, Robert Rauschenberg, Merce Cunningham o Ray Johnson. Mientras que en la universidad de Yale serán alumnos que pasen por sus enseñanzas figuras como: Richard Anuszkiewicz, Eva Hesse o Richard Serra. La importancia de su magisterio era perfectamente conocida en su época no sólo en los círculos arquitectónicos sino en los artísticos.

³ ALBERS, Josef. *La interacción del color* (15ed.). Madrid: Alianza Forma, 1979, rev. 2003, rev. y exp. 2010. (Versión original en inglés: *Interaction of Color*. Edición de bolsillo. New Haven London: Yale University Press, 1971, rev. 1975, rev. y exp. 2006, 4ª ed. 2013. p. 71. Este texto recoge el trabajo de 8 años en la universidad de Yale, en relación con el color y su aprendizaje a través de ejercicios prácticos que se recogen en el mismo. La edición original de 1963 recoge más de 150 ejercicios y multitud de láminas a todo color, por lo que enseguida se hizo necesario editar una versión reducida del capital texto de coste y contenido reducidos. El texto consultado en su versión en castellano recoge ya la edición en la que fueron revisados tanto los textos como la selección de imágenes por el propio Albers tal y como él mismo menciona en la introducción a la obra.

⁴ ALBERS, Josef. "Educación creativa". *Fisuras de la cultura contemporánea*, nº 3, 1995, p. 137. En palabras del propio Josef Albers: "No por hacer cosas diferentes (eso sería dar importancia a la forma): es más bien no hacer las cosas del modo que otros las hacen (eso es dar importancia al método). Es decir, no queremos imitar, sino iniciar una búsqueda propia, y aprender a descubrir las cosas por nuestra cuenta, queremos aprender a pensar constructivamente".

⁵ *Ibid.*, p. 138. En cualquier caso, tan cercanos como estamos a la fundación de los paradigmas del movimiento moderno, la cuestión de la consecuencia formal de lo útil está planeando sobre el trabajo de esta época. "Si en una forma hay algo que no sea útil, entonces se han hecho mal los cálculos, pues

que utiliza las técnicas y herramientas de la producción estándar de la industria de la manufacturación, y plantea que desde la "escuela" se pueden producir nuevos métodos exploratorios de manipulación y trabajo con las mismas materias. En el caso del papel, en la industria el material se trabaja dejando de lado los bordes y planteando el encolado como técnica fundamental de manipulación. Al eliminar la herramienta de encolado de las técnicas de ensamblaje posibles, Albers lanza a sus alumnos a la exploración de las capacidades del propio material, y es ahí donde las técnicas de doblado emergen con fuerza en los ejemplos de los alumnos, que a través de fotografías han llegado a nuestros días. Mediante el establecimiento de un trazado geométrico y una serie de leyes de doblado, la forma final deviene como resultado del diseño de esas precisas leyes de formación, algo que también encontraremos en el origen del trabajo de Ron Resch.

Una de las cuestiones clave en estos trabajos será el modo en que, a partir de un material plano, constituido por dos caras y un borde mínimo, se pueden formalizar elementos tridimensionales. La búsqueda de los límites se convierte en una manera de localizar los rangos de trabajo o capacidades del material en cuanto a su comportamiento, lo que nos ayuda de un modo experimental a encontrar también los límites formales y de definición del propio material⁵. La eliminación de todo aquello que suponga falta de control se convierte en una parte esencial del método propuesto. A través de un entendimiento y codificación de los modos de establecer precisas reglas geométricas que produzcan un diseño objetivo, se obtienen patrones o estrategias de trabajo controlables, reproducibles como experimentos. Una aproximación a lo artístico desde la precisión de lo científico. Albers pretendía abrir los ojos de sus estudiantes a un nuevo universo perceptible solo desde la experiencia y la cuidadosa observación de las acciones sobre el propio material⁶. [3]

Ron Resch un precursor computacional. Trabajando con restricciones

La película *The Ron Resch Paper and Stick thing Film* (1970) de Ronald Dale Resch recoge sus investigaciones desde 1960 a 1966 sobre los modos de establecer geometrías controladas y científicas para el doblado de hojas de papel y su conversión en estructuras teseladas que pudieran tener aplicaciones sobre la arquitectura. [4] Resch se convierte en este periodo en el principal experto⁷ sobre el tema y es uno de los pioneros en el uso del ordenador para la resolución de las cada vez más complejas estructuras tridimensionales que experimenta. Estudia en la universidad de Iowa, donde obtiene su Master of fine Arts, y más tarde se convierte en Computer Science Professor en la universidad de Utah en la que, con un equipo de matemáticos y técnicos computacionales, desarrolla programas y ejecuta diseños tridimensionales y virtuales de sus investigaciones acerca del diseño topológico, posibles a partir del uso del ordenador en el diseño y de herramientas de ploteado y de corte controlado por ordenador, técnicas en las que será un precursor al inicio de los años 70.

Desde 1961 empieza a trabajar con hojas de papel a las que aplica una serie de presiones y torsiones para producir dobleces en el material. Tras repetir esta operación, el papel se queda marcado y sobre esas marcas dibuja los patrones naturales que han salido del arrugado experimental del papel. Es una manera de hacer aflorar la geometría de doblado "natural" y entender cómo pueden los patrones de doblado establecer una posterior forma tridimensional. Para desarrollar su investigación, limita las posibilidades con una serie de restricciones: 1 "Solamente el doblado de la hoja plana está permitido. Por ejemplo, sin cortar ni pegar", y 2 "La arista de doblado es forzada a ser una línea recta, no curva"⁸. Un trabajo en la línea de todo lo que hemos visto como metodología aplicada por Josef Albers. El establecimiento de restricciones o limitaciones y la cadena de aprendizaje desde la propia experiencia productiva son elementos clave del proceso creativo-científico en ambos autores. [5] [6]

La búsqueda se centra, en este periodo, en la localización de algo que fuera a la vez conceptual y visual. Resch reconoce que su modo de trabajo sobre el doblado es clásico: "Fui influenciado por la noción clásica de que la forma debía ser consistente con el material del cual está hecha"⁹. La investigación avanzaría luego hacia las estructuras que él denomina "Folded Mosaic Patterns" y que hoy en día son conocidas como *origami tessellations*, Resch incorpora una nueva restricción, se trata de aplicar simetrías en la superficie para replicar los dobleces y convertirlos en un módulo de doblado adicional. La deformación, mediante la conversión de las aristas del doblado en los ejes de rotación de la estructura, convertía el elemento tridimensional en una posible cúpula. El sistema abría ahora nuevas posibilidades de trabajo con otras transformaciones. Era posible la observación de las variaciones obtenidas con esas modificaciones en el objeto tridimensional último y también lo era anticipar las relaciones causa efecto entre los patrones de doblado y el objeto final, con la capacidad que este tenía de producir movimiento o de poder adaptarse o ajustarse. Solamente, si se fijaran los ángulos de la estructura deseada final, sería posible obtener una forma estable.

Sistemas generadores: combinatorio geométrico y topológico

Para Ron Resch existen tres tipos de sistemas generadores, atendiendo a las leyes o reglas generatrices empleadas en cada uno de ellos. O, dicho de otro modo, si atendemos a cómo determinar la geometría de cada parte y cómo cada parte es ensamblada en el sistema. Esos tres sistemas son, según su criterio: el combinatorio, el geométrico y el topológico. Veamos cada uno de ellos brevemente y cómo finalmente será la combinación de parte de ellos la que dará la clave del sistema empleado.

- Sistema Combinatorio

La definición que Resch hace del sistema combinatorio es la siguiente: "Un sistema de generación combinatorio tiene una regla que determina un número finito de elementos y permite ser replicado. Su regla de conectividad no es definitiva, pero permite, junto con las constricciones del contexto, que el usuario combine las partes, y las reglas de sintaxis pueden indicar estas restricciones como parte de la conectividad". Si bien a lo largo de las diferentes investigaciones no siempre las restricciones de no encolado y no corte permanecerán presentes al abrir la posible combinatoria de sistemas, todavía en estos estudios y establecimientos básicos se aplicarán, situándose el foco para la clasificación en las reglas empleadas para la obtención del sistema generador.



[5]

entonces la casualidad está jugando algún papel, y eso no tiene justificación. Además no tiene sentido pues la causa suele ser el hábito".

⁶ En la página de cabecera de la web de la Fundación Josef & Anni Albers podemos encontrar estas palabras que resumen su pensamiento en cuanto al descubrimiento: "Josef Albers creía que enseñar arte no era una cuestión de impartir reglas, estilos o técnicas, sino guiar a los estudiantes hacia una consciencia de qué estaban viendo... Albers decía que su objetivo como profesor era "abrirles los ojos". Para Albers el bloque de enseñanza fundamental de la educación era el desarrollo de la capacidad de mirar de un modo preciso (...) La aproximación de Albers confía en la observación directa y en el descubrimiento por uno mismo".

⁷ Según Richard Sennett son necesarias 10.000 horas para convertirse en un experto sobre cualquier tema, esto supone 5 años de trabajo a razón de seis horas diarias.

⁸ RESCH, Ron. "The topological design of sculptural and architectural systems". En: *American Federation of Information Processing Societies, Proceedings of the June 4-8, 1973, National Computer Conference*. New York: Association for Computing Machinery, 1973. Extraído de The collection of the Computer History Museum. En él se recogen sus estudios y avances en esta investigación y el modo en el que se establecen las restricciones para enmarcar el campo de trabajo o estudio.

⁹ Ibid. p. 644.

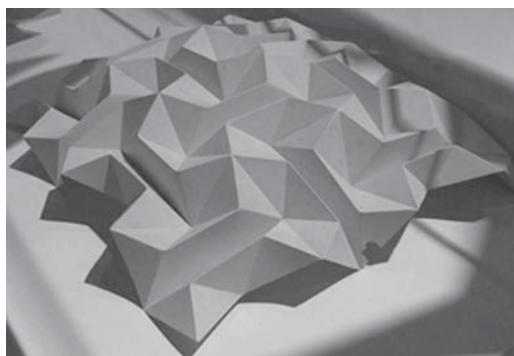
¹⁰ Ibid. p. 645.

¹¹ La regla general fue patentada por Buckminster Fuller (R. Buckminster Fuller, Patent #2682235, June, 20, 1954).

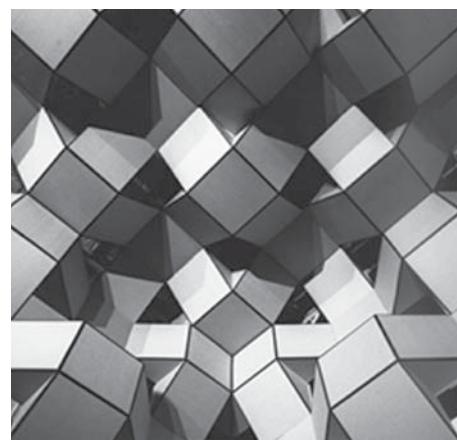
¹² El movimiento a través de las aristas o los vértices será la clave para entender estas estructuras transformables mediante el movimiento. Con ellas realiza paneles acústicos en diferentes formatos que usan su cualidad de movimiento para poderse adaptar a distintos requerimientos acústicos.

[6]





[7]



[8]

- Sistema Geométrico

A la hora de pensar en sistemas de generación geométricos, Resch nos habla, por un lado, de las estructuras tridimensionales planas de cubierta, de las cuales las más comunes son las formadas por octaedros y tetraedros y, por tanto, formadas por triángulos equiláteros y; por otro lado, de las cúpulas que requieren elementos transformados o distorsionados para obtener el espacio cupulado. En ese sentido menciona las cúpulas geodésicas de Buckminster Fuller, ya que en aquella época eran las más populares ¹⁰. “Combina la geometría regular poliédrica del icosaedro con la transformación de una retícula triangular dentro de una esfera” ¹¹. [7] Como el propio Resch observa, aunque en la cúpula geodésica de Fuller los triángulos aparentan ser equiláteros en la realidad no lo son. Estas formas dependerán de una definición previa de la geometría que puede ser recalculada para variar su escala o tamaño. El trabajo de Resch se aproxima en esta época a una espacialidad más arquitectónica. Para él es la lógica respuesta a la obsesión por convertir sus experimentos, maquetas y estudios en algo directamente conectado con las necesidades reales de los usuarios. De este modo, surge un nuevo objetivo para sus trabajos: la generación de modelos que construyen espacios habitables y no solo de meras formalizaciones escultóricas. Junto a estos espacios cupulados, Resch propondrá elementos capaces de acondicionar los ambientes en otras arquitecturas existentes. Elementos tridimensionales que permiten manipular las cualidades de un espacio previo, aportando, por ejemplo, una mejora de respuesta acústica ¹². [8]

- Sistema Topológico

Resch realiza la distinción entre el sistema topológico y el sistema geométrico centrándose en la definición de las diferencias entre las reglas que definen las partes. “Un sistema generatriz es topológico si la regla de definición de sus partes es un mapa continuo de la geometría de algunas o todas las partes, es geométrico si la regla de definición de las partes produce una única geometría para cada una de las partes. La pregunta que nos permite distinguir el tipo de sistema es: ¿Define el sistema una transformación continua, la cual varía la geometría de algunas de las partes mientras que mantiene su conectividad? Si la respuesta es sí, el sistema es topológico; si la respuesta es no, el sistema es geométrico”. En el campo de la geometría topológica, conocida comúnmente como geometría de la hoja de papel de goma, se define la continuidad del espacio topológico como aquel en el que lo importante serán las relaciones que definen determinadas geometrías y no los puntos cartesianos concretos que definen tanto su tamaño como su forma. Resch utiliza el término topológico para describir la continua transformación de un sistema que preserve solo la conectividad de sus partes.

[5] Instalación Basic Triangle Fold de Ron Resch en el Museum of Contemporary Craft, New York, 1967. Fuente: Ron Resch website gallery.

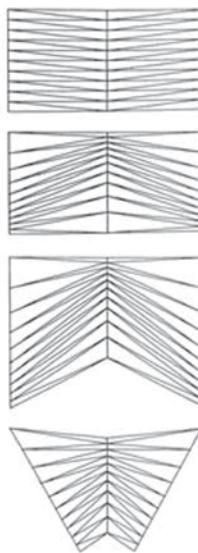
[6] Ron Resch deformando una de sus superficies tridimensionales realizadas a partir de una hoja de papel doblado. Iowa, 1959-1961. Fuente: Ron Resch website gallery.

[7] Izquierda: Modelo de superficie tridimensional. Derecha: Cúpula realizada mediante patrón teselado. Fuente: Ron Resch website gallery.

[8] Textura acústica tridimensional. Fuente: Ron Resch website gallery.



[9]



Definirá el sistema de generación topológico como un sistema de generación en el que permanecen constantes tanto la regla de conectividad como el conjunto de sus partes. En el sistema topológico, una transformación continua varía la geometría de sus partes o de algún subconjunto de ellas.

Ron Resch se ha centrado en la continua transformación de las partes del sistema, o en la capacidad que el sistema tiene para permitir estos ajustes o transformaciones sin que la esencia que define el sistema se vea alterada. Para él, este modo de transformación de estructuras dobladas, por un lado, se define mediante un mosaico bidimensional. La continua transformación de este espacio mantiene la conectividad aunque cambie la geometría. De otro lado, el sistema podrá estabilizarse mediante la fijación de las relaciones angulares entre las partes, para, de este modo, realizar una pieza concreta. “Las transformaciones combinadas producen un continuo de estructuras físicamente realizables por las cuales un diseñador puede seleccionar una forma específica de cubierta desde la especificación de sus necesidades”¹³.

Un control geométrico-matemático de la forma plegada

Siguiendo con su sistema geométrico-matemático de análisis de las superficies dobladas, además de los niveles descritos, Resch considera otros dos más en los que estos se incrustan. Mientras que los que acabamos de ver existen en un espacio continuo, los que veremos a continuación lo hacen en un espacio discreto¹⁴ y serán: el conjunto de todos los mosaicos doblados del plano y el conjunto de todos los dobleces modulares del plano. Para aclarar esta manera de entender los pasos o controles sobre las posibles estructuras y sus transformaciones potenciales, su autor nos pone como ejemplo una de las estructuras que partiendo de una hoja rectangular se transforma en una pieza tridimensional con forma de pájaro o con similitudes formales con figuras aladas. Este ejemplo servirá de portada del manuscrito de la conferencia *Communications of the ACM* de noviembre de 1970. Ron Resch presenta en él esta estructura que denomina “Bird Form”. [9] Para ella realiza un programa de ordenador en el que parametriza la estructura. Cada parámetro controla un tipo de cambio continuo. En el gráfico podemos ver, de arriba abajo; las proporciones de la hoja antes de la transformación, la variación de la

[10]



[9] Ron Resch Estructura de aluminio cortado por ordenador RR3 Bird Form, 1970. Portada para la conferencia *Communications of the ACM*. Fotografía: Ron Resch website gallery.

[10] Ron Resch. Izquierda: plotter dibujando un patrón de doblado sobre papel. Derecha: Ron Resch con un dibujo en 3D por ordenador. Fotogramas extraídos del film *Paper and Stick* (1970).

[11] Ron Resch trabajando con barras materializando las aristas de las estructuras teseladas de papel para la realización de espacios cupulados. Fotogramas extraídos del film *Paper and Stick* (1970).

¹³ Ibid, p. 646.

¹⁴ En topología un espacio discreto es lo opuesto a un espacio continuo. También es denominado espacio de puntos aislados. Sus puntos forman una secuencia discontinua. Los subconjuntos dentro de este espacio son abiertos.

¹⁵ El 24 de enero de 1966 Ron Dale Resch registra "Self supporting structural unit having a series of repetitious geometrical modules" con el número de patente US 3407558. El 21 de junio de 1976 registra "Self supporting structural unit having a three dimensional surface". Con el número de patente US 4059932 A, que servirá para la construcción de su escultura "The Vegebrille Egg".

¹⁶ Ibid, p. 650.

¹⁷ Ibid, p. 651.

localización de los vértices fuera y dentro de los segmentos, el escalonado de los segmentos fragmentados exteriores y la variación angular de las líneas fragmentadas exteriores. Este tipo de estudios son patentados ¹⁵ por Resch como estructuras autoportantes que pueden llegar a convertirse en cúpulas arquitectónicas a través de una superficie tridimensional. Será posible la construcción de una gran variedad de sistemas cupulares a partir de este sistema transformable topológicamente, simplemente con la variación del ángulo de doblado, pero sin variar la dimensión de las piezas.

Para Resch existen dos técnicas para obtener estos objetivos: Por un lado, el paso por el control numérico del doblado, en lugar de hacerlo a través de medios manuales –mediante medios mecánicos se transfiere el patrón de doblado a la superficie plana de trabajo–. Esto significa que cada diseño posee un único patrón de marcado para su doblado. [10] Por otro lado, el uso del procedimiento de marcado automático de las hojas de papel o vinilo, obtenido mediante fresado fotoquímico a placas metálicas. En lugar de presionar como en el papel o en el vinilo, el metal requiere retirar material a lo largo de la línea de doblado. Es de hecho la misma técnica que se utiliza para hacer maquetas de acero inoxidable en placas muy finas grabadas al ácido para, al eliminar material, permitir una guía de doblado por debilitamiento de la sección. Se trata de nuevo de explorar el control digital usado para dibujar las líneas de trazado y con este dibujo transferir a una placa de aluminio mediante grabado químico. Esta lámina es doblada manualmente con posterioridad para obtener el objeto final.

El ordenador como herramienta. Control y comunicación

En sus conclusiones Resch da gran importancia al papel que tienen los ordenadores, no solo en la definición de los patrones y geometrías de doblado o en la producción final de los propios marcados de doblado sobre el material, sino también en la exploración de nuevas transformaciones topológicas sobre los modelos que además pueden ser visualizados y ensayados antes de su construcción física mediante técnicas de visualización de modelos en 3D. Esta vertiente abre un camino hacia la comunicabilidad de la investigación, acercando el plano de trabajo de la investigación geométrica y matemática hacia las necesidades humanas. El valor de la adaptación al usuario está muy claro en el hilo de acercamiento a su investigación: "Creo que a partir de la experiencia presente es posible volver a introducir un "soft prototype" para prestar atención a las sutiles variaciones de las necesidades del usuario, y para concebir objetos como una clase de variación continua de soluciones a un conjunto de variación continua de necesidades; y utilizar estas necesidades como entrada a una transformación en esta clase de objeto topológicamente concebido de tal forma que determina un conjunto específico de instrucciones que trabajará dentro de las variables posibles gracias a las máquinas automáticas y a los procesos" ¹⁶.

Queda claro, por tanto, cómo la utilización de sistemas generadores topológicos abre las puertas a una adaptabilidad final del sistema a las necesidades últimas como contexto restrictivo del proyecto. Será un dato más que ayudará a definir la tendencia de deformación del objeto final. Es también clara la manera en la que ese campo abierto permite igualmente la individualización específica de un sistema abierto a soluciones no concretas, aunque repetibles. En su último párrafo, como conclusión a sus métodos de trabajo, Resch afirma: "Creo que un gran número de demandas específicas de un proceso de producción puede dar lugar a un número igualmente grande de objetos individuales, de una clase de objetos, sin aumento sustancial en el coste total, si el sistema está así diseñado. A este concepto total le he llamado "diseño topológico" ¹⁷.

[11]





[12]

Finalmente, es importante destacar cómo la investigación de Ron Resch deriva en la asimilación del trabajo con las aristas de doblado como entes materializables, ya que estos son los elementos que pueden fácilmente definir la geometría final del sistema en el ordenador. De este modo, Resch pasa de trabajar con hojas de papel plano en las que reproduce un patrón de doblado, a realizar modelos tridimensionales a través de barras, o de barras con planos transparentes de papel celofán de color para, de este modo, poder observar la acción de la luz sobre ellos. Este avance es importante, ya que consigue ver más allá de la propia superficie del material. Supone una forma de dar un cambio de escala a los sistemas con los que trabaja, ya que la asimilación a elementos que pueden ser alterados de escala, a una escala no ya objetual o escultural sino arquitectónica o constructiva de gran tamaño, son ahora posibles. Las barras y planos son similares a los marcados y planos de los modelos originales, pero esta vez con la capacidad de alterar su materialidad, grado de transparencia o permeabilidad al aire. [11]

Tras los pasos de Ron Resch, Greg Lynn, *Folding Architecture*

Como acabamos de ver, la cuestión topológica es clave en los sistemas de diseño propuestos por Resch. Y lo es aún más para entender la influencia sobre posteriores generaciones de artistas y arquitectos, como es el caso de Greg Lynn, quien, no muchos años después, reconoce este origen germinal en el uso del ordenador y entiende estos trabajos como una de las bases en el punto de arranque de su propio trabajo.

En 1995 la revista *Architectural Design* propone al arquitecto americano Greg Lynn como editor de su número 102, 1995¹⁸. El título de la edición será "Folding Architecture"¹⁹. El número muestra el territorio de la arquitectura y los nuevos conceptos emergentes de finales de los años 90 y su relación con el manejo de superficies complejas, así como el uso de sistemas computarizados avanzados y sofisticadas máquinas que permitan traducir esos dibujos de CAD a objetos tridimensionales. Los estudios, ejemplos arquitectónicos y textos que se recogían en la revista suponían un claro avance en la conceptualización e incorporación en el debate arquitectónico tanto de esas herramientas como de las formalizaciones derivadas de ellas.

Greg Lynn plantea desde esta mirada una producción sistemática, con el ordenador como participante en todos los momentos del proceso y no solo en el proceso previo de diseño, tal y como había realizado precursoramente con sus trabajos con CNC el propio Ron Resch. Este uso no se plantea desde la seriación de elementos repetidos, sino desde el entendimiento de la variación individual de cada objeto diseñado dentro de un campo definido por unas leyes paramétricas estrictamente formuladas. Para Lynn la plegadura va más allá de esos patrones teselados e implica involucrar elementos dispares entre sí a través de manipulaciones de doblado, retorcido, aplanado, ondeado, etc., realizadas por fuerzas externas, y no solo desde dentro de los elementos que conforman el sistema. Los sistemas maleables son fácilmente curvados, doblados inclinados, en definitiva, influenciados. Lynn nos lo dice así: "Los sistemas geométricos tienen un carácter distinto una vez que han sido doblados: intercambian coordenadas fijas para las relaciones dinámicas a través de superficies"²⁰. Una nueva mirada en el uso de las herramientas proyectuales que está en el origen del futuro cambio de paradigma

[12] Greg Lynn. Ark of the World. Costa Rica. Maqueta de la propuesta y diagrama de concepto de transformación y doblado de superficies, 2002-2003. Fuente: Archivo Greg Lynn FORM. Fotografía de maqueta: Brandon Welling, 2003.

[13] Ron Resch. Colaboración para la película: *Star Trek (the motion picture 1979)*. Diseño del Orificio interior. "En 2271, una entidad desconocida y nebulosa desciende sobre varias naves klingon y las destruye. Después de haber monitoreado el ataque sorpresa, la estación espacial de la Federación Epsilon IX todavía no puede evitar convertirse en la próxima víctima de esta vasta y misteriosa nube de energía". Fuente: Ron Resch website gallery.

[14] Izquierda: Modelo de la nave Epsilon IX diseñada por Ron Resch, en el set de rodaje bajo su supervisión. Derecha: Fotograma del film. Colaboración para la película: *Star Trek (the motion picture 1979)*. Fuente: Ron Resch website gallery.

¹⁸ Greg Lynn cuya formación se desarrolla en la universidad de Miami en la que se gradúa *Cum Laude* en filosofía y diseño ambiental, y obtiene su Máster en Arquitectura en Princeton University, realiza sus primeras experiencias laborales en el estudio de Peter Eisenman con quien aprenderá el manejo de geometrías complejas y el valor conceptual de la complejidad, cuestión que le atraerá desde sus comienzos.

¹⁹ Dada la importancia y trascendencia del número, la revista se reeditará en 2004, esta fue revisada por el propio Lynn y Mario Carpo.

²⁰ Op Cit. RESCH, Ron. "The topological design of sculptural and architectural systems". p. 11.

en el manejo de la complejidad geométrica y que sienta las bases del uso de lo paramétrico dentro de los diferentes campos del diseño. Como reflejo de la pertenencia a una estirpe de investigadores de la escuela americana, tanto Resch como Lynn comparten también la sistematización de su trabajo, en el que existe una consciencia clara de la importancia de establecer criterios científicos y extrapolables a cualquier proceso investigativo y creativo. La continuación por otros a partir del legado siempre será posible. [12]

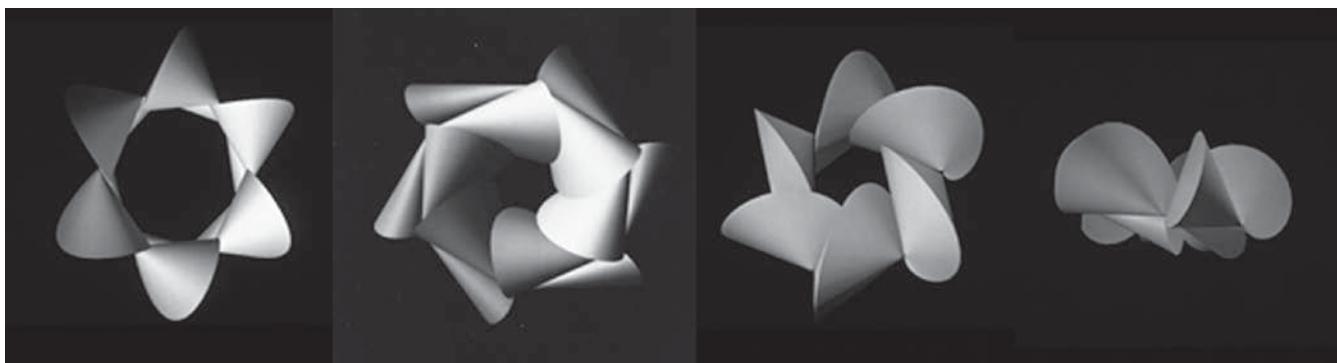
Para concluir, podemos asegurar que Ronald Dale Resch aplica un seguimiento por pasos deducidos de la propia observación de los modelos físicos y de sus comportamientos. Al final de su película, a pesar del estudio con el ordenador que facilita los cálculos predictivos más complejos, manifiesta que la realización de modelos a mano le ha permitido un acercamiento más natural al trabajo con la geometría y con los sistemas que desarrolla.

Su investigación supone una mirada desde las décadas de los sesenta y setenta hacia un futuro por descubrir que ha sentado unas sólidas bases en el uso de las superficies complejas y del ordenador como herramienta de control para los trabajos de finales del siglo XX de investigadores como Greg Lynn, o, ya a principios del siglo XXI, de los hermanos Erik y Martin Demaine, Gregory Price o Tomohiro Tachi, sin olvidar a Eric Gjerde. Algunos de ellos se han centrado en el análisis matemático como los hermanos Demaine o Gregory Price, otros han continuado la traslación a materiales como la madera laminada y el uso del ordenador para la realización de modelos visuales tridimensionales como es el caso de Tomohiro, otros, como Gjerde, han experimentado con la realización de patrones físicos en distintos tipos de papel y con reglas en las que los patrones de simetría se desdibujan más.

Todos ellos son, en cierto sentido, menos deudores de la geometrización especular desarrollada por Resch en sus modelos. Modelos en los que el uso desprejuiciado e innovador de los ordenadores y de los primeros cortes y dibujos mediante maquinaria controlada por ordenadores CNC han sido claros precursores.

A día de hoy, estos últimos siguen siendo mencionados, no obstante, en los trabajos de los expertos que continúan investigando sobre este tipo de teselaciones dobladas y sistemas de generación de modelos tridimensionales controlables desde materiales planos. [13] [14]

[13]



[14]



10 | Ron Resch. Patrones de doblado. El diseño topológico desde la geometría computarizada _Fernando G. Pino

El doblado proyectado es indisoluble de la geometría que lo hace posible. Para establecer un claro control sobre el doblado es necesario realizar un documento proyectivo, un plano. Es por eso que los asuntos ligados a la geometría y al control matemático de los patrones de doblado han sido siempre fundamentales en la construcción de este tipo de diseños. Nos acercamos aquí a uno de los principales referentes y precursores sobre el estudio y desarrollo de los patrones de doblado para fines volumétricos, Ron Resch. Se trata de un desconocido artista y científico computacional norteamericano cuyo trabajo se menciona de modo repetido cuando se habla de arquitectos contemporáneos como Greg Lynn, quien ha aplicado también el uso del ordenador como herramienta de control y desarrollo geométrico. Para situar el momento, veremos el trabajo didáctico de Josef Albers y su manera de "abrir los ojos" mediante la experiencia con la manipulación restringida de la materia. El trabajo de Ron Resch establece una manera científica de aproximarse al problema y de aplicar las por aquel entonces incipientes herramientas computacionales, como son la elaboración de modelos 3D o la utilización de maquinaria CNC para el corte o el marcado. Los sistemas topológicos de Resch son en gran medida el origen de lo que hoy es el diseño paramétrico y la arquitectura de desarrollo con ordenadores.

Palabras clave

Ron Resch, doblado y geometría, patrón de doblado, sistemas geométricos, sistemas combinatorios, sistemas topológicos, teselación, geometría computacional, Josef Albers, Greg Lynn, diseño paramétrico

10 | Ron Resch. Bending Patterns. The Topological design from computerized geometry _Fernando G. Pino

The designed bending is inseparable of the geometry that makes it possible. To establish a clear control over the fold it is necessary to make a projective document, a plan. That is why issues related to geometry and mathematical control of bending patterns have always been fundamental in the construction of this type of design. Here we are approaching to one of the main references and pioneers on the study and development of bending patterns for volumetric purposes, Ron Resch. He is a not very well known American artist and computational scientist whose work is mentioned repeatedly when contemporary architects such as Greg Lynn are mentioned, who have also applied the use of the computer as a tool for control and geometric development. In order to situate the moment, we will look at Josef Albers' didactic work and his way of opening the eyes through experience with the restricted manipulation of matter. Ron Resch's work establishes a scientific way of approaching the problem and applying the incipient computational tools at that moment, such as 3d modelling or the use of CNC machines for cutting or marking. The topological systems by Resch are to a large extent the roots of what is now parametric and computer development architecture.

Keywords

Ron Resch, bending and geometry, bending pattern, geometrical systems, combinatory systems, topological systems, tessellation, computational geometry, Josef Albers, Greg Lynn, parametric design

10 | Ron Resch. Patrones de doblado. El diseño topológico desde la geometría computarizada _Fernando G. Pino

ALBERS, Josef. *La interacción del color* (15ed.). Madrid: Alianza Forma, 1979, rev. 2003, rev. y exp. 2010. (Versión original en inglés: *Interaction of Color*. Edición de bolsillo. New Haven y London: Yale University Press, 1971, rev. 1975, rev. y exp. 2006, 4ª ed. 2013.

ALBERS, Josef. "Educación creativa". *Fisuras de la cultura contemporánea*, nº 3, 1995.

HOROWITZ Frederick A.; DANILOWITZ Brenda. *Josef Albers, To open eyes: the Bauhaus, Black Mountain College, and Yale*. New York; London: Phaidon, 2009.

RESCH, Ron. "The topological design of sculptural and architectural systems". Extraído de The collection of the Computer History Museum. En: *American Federation of Information Processing Societies*, Proceedings of the June 4-8, 1973, National Computer Conference. New York: Association for Computing Machinery, 1973.

RESCH, Ron; STENGER, Frank; WALDVOGEL, Jörg. "Functional Equations Related to the Iteration of Functions". *Aequationes Mathematicae*, Vol. 60, nº 1-2, 2000.

RESCH, Ron. "Keynote Address". En: *International Industrial Graphics Conference, Proceedings of June, 1976*.

RESCH, Ron. "The Space Curve as a Folded Edge". En: BARNHILL, Robert E.; RIESENFELD, Richard F. (eds.). *Computer-Aided Geometric Design, Proceedings of a Conference Held at the University of Utah, Salt Lake City, Utah, March 18-21, 1974*. Florida: Academic Press, Inc., 1974.

RESCH, Ron. "Portfolio of Shaded Computer Images". *Proceedings of the IEEE*, Vol. 62, nº 4, 1974.

RESCH, Ron. "Computer-Aided Sculpture". En: *Proceedings of the 7th National Sculpture Conference April 1972*. Lawrence, Kansas: University of Kansas Press, 1972.

RESCH, Ron; CHRISTIANSEN, Niels H.. "Design and Analysis of Kinematic Folded Plate Systems". En: *Proceedings of the IASS Symposium on Folded Plates and Prismatic Structures*, September 1970.

RESCH, Ron. "Kinematic Folded Plate Systems". *Utecnic, University of Utah Engineering Magazine*, May 1970.

RESCH, Ron. "Computer Art". *The Bridge*, Vol. 66, nº 2.

RESCH, Ron. "Experimental Structures". En: *Architect-Researcher Conference, Proceedings of the American Institute of Architects, October 25, 1968*. Gatlinberg, Tennessee: University of Tennessee, 1968.

RESCH, Ron. "Order and Disorder in Structures in Society". En: *Proceedings of International Design Conference*, June 18-25, Aspen, Colorado, 1968.

RESCH, Ron. "Stills from a Computer Animated Film". En: REICHARDT, Janis (ed.). *Cybernetic Serendipity*. New York: Studio International, 1968.

RESCH, Ron. "Experimental Structures". En: NIEVERGELT, Jurg; SECREST, Don (ed.). *Emerging Concepts in Computer Graphics*. New York: W.A. Benjamin Co., 1968.

VV.AA. *Josef Albers: Medios mínimos, efecto máximo*. [cat. expo., Fundación Juan March, Madrid]. Madrid: Fundación Juan March, 2014.