

UAI-UFLO-UCU
CIAU 1
I CONGRESO DE INVESTIGACION EN ARQUITECTURA&URBANISMO
19-20 de Noviembre de 2025

Auspicio de Universidad Atlántida / Universidad Católica de Santa Fé /
Universidad San Pablo de Tucuman / Universidad de Mendoza / Universidad
Privada de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia

PLEGADOS DESDE CURVAS DERIVADAS DEL EUR R Y A

Marcela Carolina Franco¹

Palabras claves: morfología, diseño, transfiguración, plegado-curvo

Resumen

Con la intención de ampliar y enriquecer el lenguaje de formas de los arquitectos y diseñadores; hace ya varios años investigamos, desde el campo de la Morfología General y con alto grado de abstracción geométrica, novedosas transfiguraciones de curvas clásicas y curvas matemáticas derivadas del sistema Espacio Unitario Recíproco Radial y Axial (EUR R y A). Actualmente nos centramos en dilucidar el modo en que las formas desde ese nivel de abstracción se convierten en objetos, campo de la Morfología Material. De las múltiples opciones para emplear dichas curvas, en esta oportunidad se optó por realizar Diagramas de Plegados Curvos (por ser factible de llevar al Aula-Taller en carrera de grado de arquitectura). La transferencia de la investigación se llevó a cabo a través de la enseñanza en la carrera de grado de arquitectura de la UAI. Fue una oportunidad que nos permitió poner a prueba nuestras investigaciones. En esta etapa predigital destacamos como resultado principal la necesidad de simplificar los patrones de plegado curvo.

Conclusión: las diversas y novedosas conformaciones geométricas que adquieren las curvas transfiguradas; nos aporta sugestivas posibilidades al momento de observar el correlato morfológico entre los diagramas de plegado curvo y la generación de superficies espaciales.

Siguiendo con los lineamientos de la UAI se realizó como cierre del ejercicio una actividad breve utilizando motores de Inteligencia Artificial vinculando a la superficie espacial obtenida con la Biomímesis, para concientizar y pensar en la arquitectura sustentable desde los primeros años de la carrera.

Introducción

El plegado curvo se ha empleado en disímiles disciplinas, por ejemplo, en el diseño industrial, en mobiliarios, instalaciones, generación de espacio arquitectónico y estructuras edilicias y actualmente con las nuevas tecnologías existen novedosos desarrollos de arquitectura experimental. Se remonta al doblado de servilletas del siglo XVII. Le siguen las experiencias didácticas del artista plástico Josef Albert y sus estudiantes en la mítica escuela alemana Bauhaus en la década de 1920. Otros antecedentes relevantes son las estructuras abstractas y geométricas de David Huffman (1925-1999), quien en sus trabajos investiga la relación entre los diferentes trazados curvos y la

¹ Profesora-Investigadora de la Facultad de Arquitectura UAI Sede Buenos Aires-CAEAU

generación de superficies espaciales. Ron Resch (1939-2009) desarrolla sistemas generadores de patrones de doblado de papel y los convierte en estructuras teseladas que pudieran tener aplicaciones en la arquitectura. En nuestros días se destacan los trabajos de los Doctores Martin y Erik Demaine, sus diseños son la evolución del plisado curvo de Albers. También destacamos a Richard Sweeney quien trabaja con plegado modular, sus obras con curvas sinuosas se asemejan a las últimas estructuras de arquitectura paramétrica de Zaha Hadid. El estudio Patkau Architects se inspiró en el plegado curvo de láminas de madera para diseñar refugios en Canadá. Otros ejemplos de arquitectura contemporánea son los de Gregory Epps y Tomohiro Tachi quienes estudian Pliegues curvos de superficies rígidas, y también las estructuras de Marc Fornes para un anfiteatro informal, entre otros. Destacamos las investigaciones de Haresh Lalvani quien con plegados curvos desarrolla experimentalmente morfologías y estructuras arquitectónicas no convencionales.

Conviene aclarar la definición de forma con la que trabajamos: Forma es el estudio del modo en que las culturas producen la apropiación de la espacialidad tanto material como conceptualmente (Giordano–Doberti).

Con la inquietud de actualizar, ampliar y enriquecer el lenguaje de formas de los arquitectos y diseñadores, en los últimos años nos centramos en desarrollar transformaciones de Curvas derivadas de las Espacialidades del Espacio Unitario Recíproco Radial (EUR R) y del Espacio Unitario Recíproco Axial (EUR A). Desarrollamos transformaciones de curvas clásicas y complejas, asimismo trabajamos con curvas matemáticas aún no han sido utilizadas en el campo del diseño arquitectónico, al menos conscientemente o de Forma sistemática.

Actualmente este tema se puede explorar y abordar con las nuevas tecnologías desde los *softwares* de arquitectura paramétrica y también las tecnologías de corte láser o por agua, en materiales tan diferentes como papel, polipropileno, láminas de madera, acero, aluminio, acero inoxidable, etc.

Como arquitectos es inevitable pasar a la instancia de aplicar dichos resultados al diseño para contribuir al desarrollo de un lenguaje geométrico acorde con los desarrollos del devenir de la forma arquitectónica compleja contemporánea.

El objetivo en esta instancia es aplicar dichas curvas transfiguradas a la enseñanza de grado de la carrera de arquitectura. De las múltiples opciones en esta oportunidad elegimos el Plegado Curvo de superficies para la generación y materialización de superficies espaciales (principalmente debido a que es factible implementarlo en el aula-taller) y asimismo desarrollamos patrones de plegado que presentan simetría de translación de curvas clásicas y curvas matemáticas.

Antecedentes del plegado curvo

El plegado curvo tiene sus raíces en el arte de doblar servilletas. Una práctica ornamental que ya mostraba principios de geometría aplicada SXVII.

Le siguen las experiencias didácticas para desarrollo de la creatividad del artista plástico Josef Albert en la mítica escuela alemana Bauhaus en la década del 1920-30. Tanto Albert como sus estudiantes exploraron el plegado como parte de sus investigaciones morfológicas. Estas experiencias derivaron en patrones de plegado que influenciaron generaciones posteriores.

Otro antecedente relevante son las estructuras abstractas y geométricas de David Huffman (1925-1999) físico y matemático que desarrolló técnicas de

plegado curvo aplicadas a superficies espaciales. Fue pionero en el uso de algoritmos para diseñar superficies plegables.

Ron Resch (1939-2009) accede a los trabajos de Albert a través de su relación con Buckminster Fuller. Resch fue otro precursor en el uso de ordenador; desarrolla sistemas generadores de patrones de doblado de papel, controlados y científicos: combinatorio geométrico y topológico, los convierte en estructuras teseladas que pudieran tener aplicaciones a la arquitectura.

En nuestros días se destacan los trabajos de Martin y Erik Demaine, dichos diseños son la evolución del plisado curvo de Albers. También destacamos a Richard Sweeney quién trabaja con plegado modular: sus obras con curvas sinuosas se asemejan a las últimas estructuras de arquitectura paramétrica de Zaha Hadid.

Patkau Architects se inspiraron en el plegado curvo de láminas de madera. Diseñaron un grupo de refugios turísticos en Canadá, que consta de 6 cobijos de estructura cónica, todos diferentes. Este mismo estudio diseñó caparazones similares a partir de láminas de acero inoxidable curvadas denominados Cocoon (2012), destinados para comercios de moda ubicados en un *shopping* en Tokio; en donde las reflexiones interiores que produce el material multiplican las simetrías formales. También desarrollaron *One Fold* curvando láminas de acero inoxidable, para esculturas habitables que denominaron GNaum en homenaje al genial escultor constructivista Naum Gabo.

Otros ejemplos de arquitectura contemporánea son los de Gregory Epps y Tomohiro Tachi quienes estudian pliegues curvos de superficies rígidas.

En arquitectura experimental destacamos las estructuras de Marc Fornes quién ensayó un anfiteatro informal, plisado inflado partiendo del plegado curvo de Albert y desarrollado por Eric y Martin Demaine.

Resaltamos las investigaciones en plegados curvos de Patricia Muñoz explorando variantes morfológicas de diagramas de plegado de simetrías de traslación por bandas y rotaciones con aplicaciones al diseño industrial.

Distinguimos especialmente el trabajo de: *The Center for Experimental Structures* de *Pratt School of Architecture* fundada por los arquitectos William Katavolos y Hareesh Lalvani quienes desarrollan un programa experimental de morfología, estructura y producción digital. En los desarrollos en plegados curvos intentan descubrir topologías menos familiares. Formas tubulares ondulantes, ondulaciones hiperbólicas, toros simples o versiones esféricas, por ejemplo. La manipulación de la curvatura de los pliegues se logra manualmente en la mayoría de los casos para luego estudiarlos con *software*. En algunos casos y en forma progresiva se han materializado las estructuras plegadas con ladrillo tradicional.

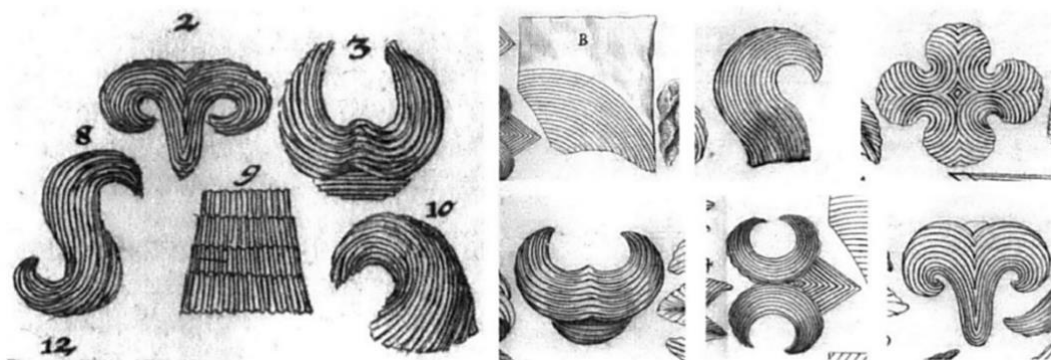


Figura 1. Plegado Curvo de servilletas del Siglo XVII.

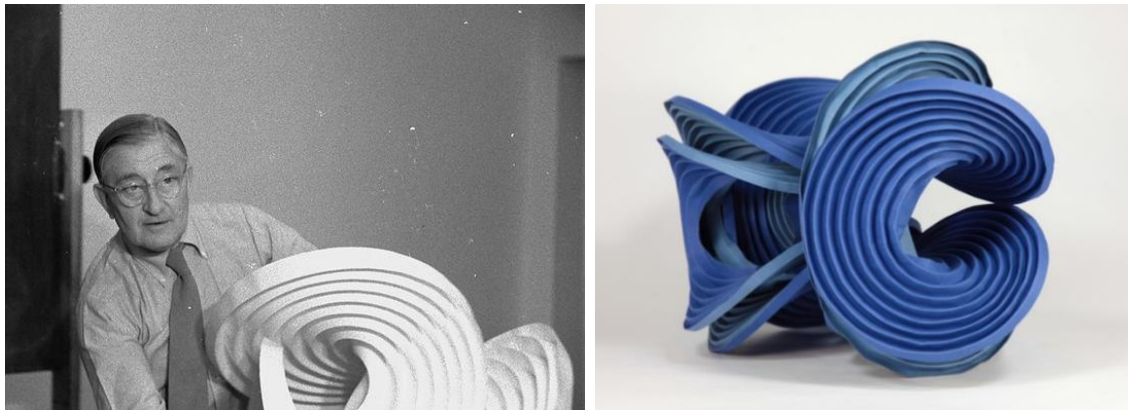


Figura 2 (Izq.) Josef Albert. (Der.) Fuente: <https://erikdemaine.org/curved/MoMath/>

Laboratorio de formas

Campo de la morfología general

Una de las metodologías de trabajo posible consiste en utilizar al sistema EUR para obtener formas novedosas. Como *formas novedosas* nos referimos al menos a formas no publicadas en revistas especializadas, es decir en algún sentido, inéditas..

Las formas aquí obtenidas tienen un alto grado de abstracción y pertenecen al campo de la morfología general. Las posibilidades máximas del sistema EUR R están vinculadas con la acción o labor de diseñar y el hacer; de ahí la relación con la palabra laboratorio.

Realizamos un análisis morfológico describiendo las principales características de las formas para apropiarnos del conocimiento con un lenguaje metafórico accesible al proyectista.

Un método posible es obtener una curva transfigurada en el sistema EUR y luego emplearla en la espacialidad cartesiana y homogénea habitual. Conviene aclarar que a veces se utiliza un lenguaje matemático, pero el sentido de lo dicho será siempre en el contexto morfológico.

Describimos brevemente aquí al Espacio Unitario Recíproco (Fig. 3); aclaramos que es un modelo de espacialidad y no es un sistema de dibujo. El EUR R es un disco abierto y sin bordes de centro 0 y radio 2; cuya espacialidad central y unitaria es homogénea y por fuera de ésta lo envuelve una la espacialidad de métrica no homogénea y diferenciada.

En cambio, el EUR A es un cuadrado abierto, es decir sin bordes, de centro cero 0 y lado 2. Al igual que el modelo antes mencionado contiene un espacio unitario central y homogéneo. Es decir, el espacio cartesiano habitual que nos sirve para mantener a las formas contextualizadas y así comprender mejor su transfiguración, tal como se puede apreciar en los gráficos (Fig. 3.)

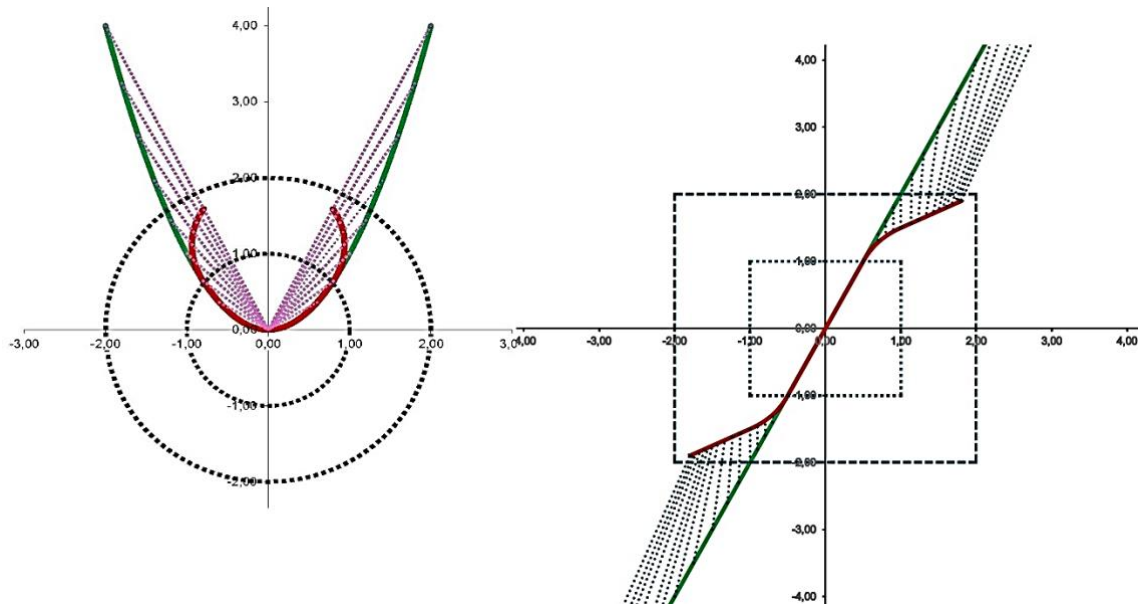


Figura 3. Gráfico explicativo de las transformaciones que se producen en el EUR R y A respectivamente.

Estos gráficos (Fig. 3 y 4) se realizaron con el programa *Excel*, al cual se le aplicó una semiprogramación.

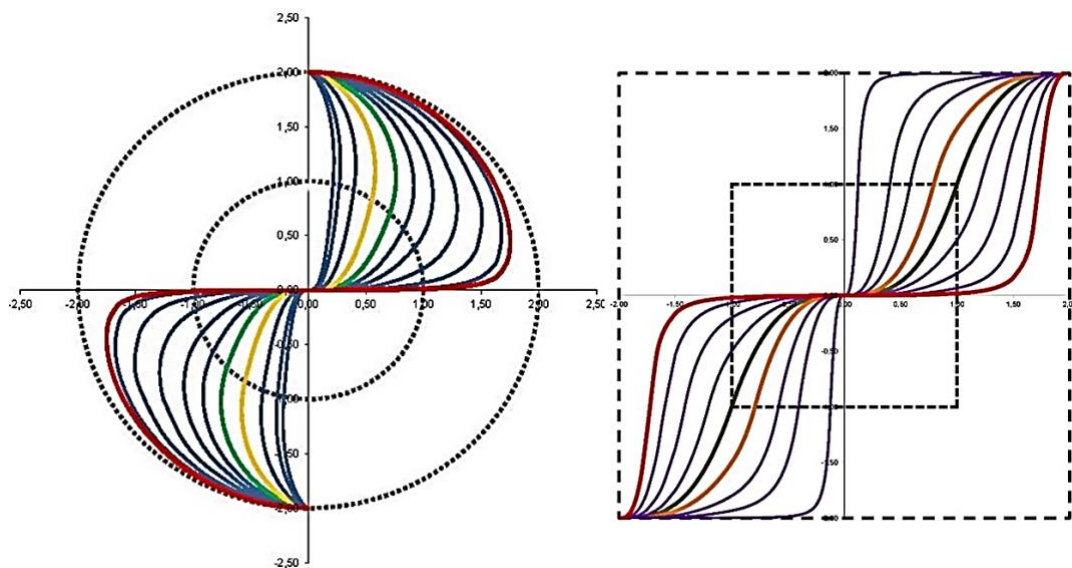


Figura 4. Familia de la Función cúbica inscrita en el EUR R y A respectivamente.

Analizando las formas y situándonos en un híbrido entre el pensamiento paradigmático y el pensamiento narrativo: comenzamos a desarrollar un apartado que hemos denominado *Cuaderno de curvas*.

Cuaderno de curvas Morfología específica

Nos interesa elucidar porqué denominamos a estos desarrollos *Cuaderno de curvas*. *Cuaderno* porque es aquello que sirve para anotar, para registrar lo inmediato y lo no acabado. Un lugar donde se crea y descubre e imagina una

forma, donde se escriben conclusiones. parciales, dibujos, pensamientos, nos interesa ese carácter espontáneo; que registra lo sucedido. Un cuaderno que sirva como herramienta de proyecto, laboratorio de formas y soluciones técnicas para traducir geometría curva a decisiones constructivas y espaciales.

Cuaderno de curvas como registro sensible del espacio y la forma, pero no solo un mero catálogo donde se registra lo ya creado.

Ahora a modo de ejemplo nos ocuparemos solo de la transfiguración de una curva matemática no utilizada en el ámbito del diseño. Hablamos de la familia de una función cúbica inscrita en el EUR R y A respectivamente (Fig. 4.) Aún en el espacio cartesiano la característica principal de dicha curva es su punto de inflexión, donde la curvatura de la gráfica cambia de cóncava a convexa, lo que le da una forma de "S". Al eje de las Y suele cruzarlo 3 veces. En el caso de estar inscrita en el EUR R por el tipo de espacialidad exacerba esta característica (Fig. 4) y en cambio inscritas en el EUR A al converger hacia los puntos cuspidales libera de tensión a la curva. Lo cual sería más conveniente para desarrollar un diagrama de plegado de traslación simple.

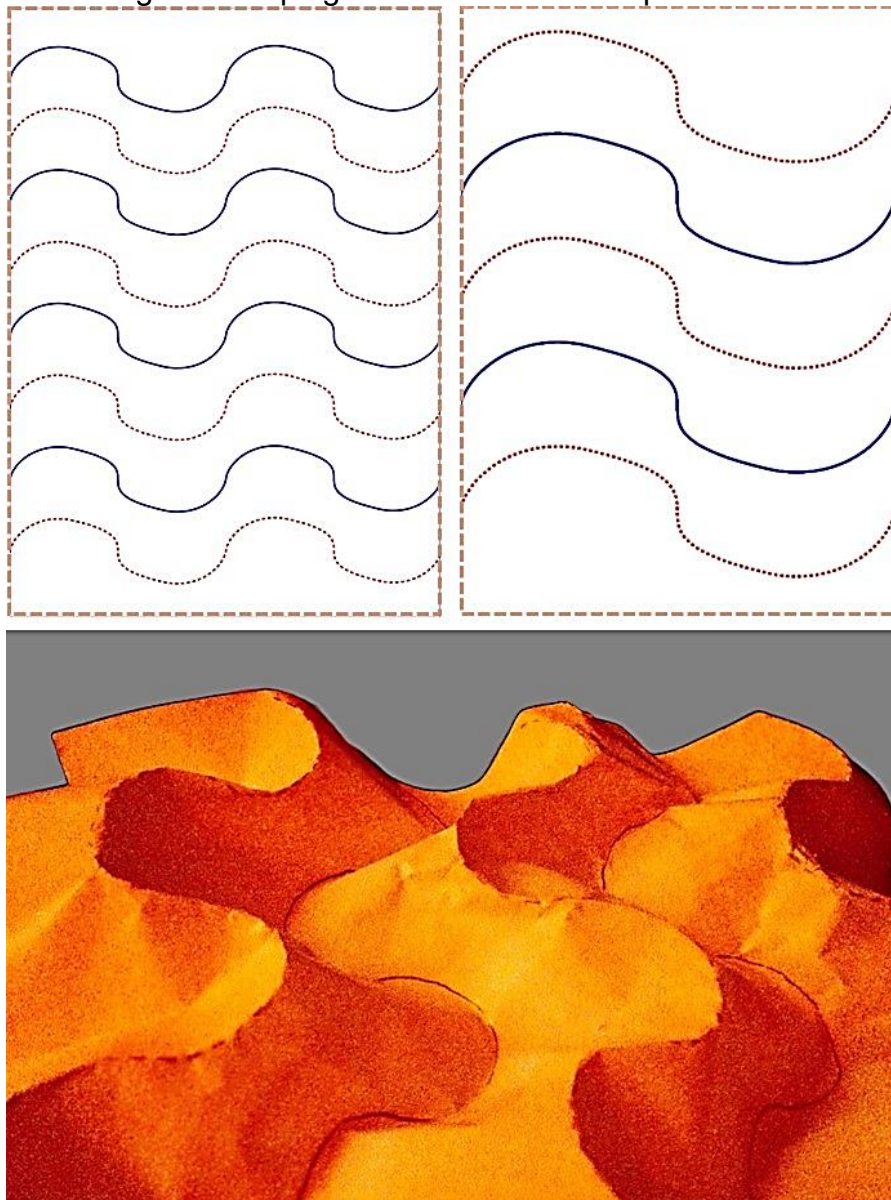


Figura 5. Tipos de Diagramas de Plegado. (Función cúbica) . La línea cumbre acompaña la alternancia de superficie continua cóncava y convexa.

Tipos de diagramas de plegado

Morfología material

Morfológicamente podemos decir que el pliegue es un recurso para la generación de espacio. El plegado es desarrollable en el plano. A partir de la acción del pliegue cambia la configuración espacial, de la bidimensión al espacio tridimensional, es un buen ejercicio para la generación de formas espaciales.

El pliegue es el diseño de un punto intermedio entre dos superficies manteniendo la continuidad laminar; la organización operatoria de esta acción es la de yuxtaposición. Al pensar al pliegue como rasgo operatorio focalizamos la materia, el lenguaje y su forma de articularse.

El despliegue no es lo contrario al pliegue ni su colapso, sino que es la extensión de su acto, es la condición de su genética morfológica, al igual que el repliegue. La acción del plegado como sistemática de una transfiguración tiene 3 instancias significativas: pliegue, despliegue, repliegue. Estas tres instancias son parte de la genética morfológica del plegado, son parte de la misma esencia del pliegue. A partir del pliegue se conforma en la superficie laminar una textura característica aportando el característico juego de luces y sombras.

Hasta ahora venimos realizando un complejo recorrido desde la máxima abstracción, posibilidad que nos brinda la *morfología general* donde describimos la espacialidad del sistema EUR, luego caracterizamos la transfiguración de algunas curvas, ámbito de la *morfología específica*. Para finalizar llegamos finalmente al campo de lo que Doberti denomina *morfología material* que consiste en el modo en que las Formas desde su nivel de abstracción se convierten en objetos.

En este inicio de la transferencia de la investigación, se emprendió la etapa predigital para estudiar el comportamiento de dichas curvas transfiguradas a partir de diagramas de plegado sin cortes y así poder conceptualizar desde las posibilidades morfogenerativas; con el propósito de tener más evidentes los pasos a seguir.

Se dejaron de lado los diagramas por bandas (simetría de traslación), las tramas (simetrías de traslación y/o roto-traslación) y las circulares (simetría de rotación). Estas categorías podrían abordarse en otra instancia. Como metodología abordamos los diagramas de plegado que responden a la sistemática de las leyes de simetría de traslación. Estas pueden ser simetrías lineales en el plano o el espacio. Así tenemos los tipos de *Diagramas de Plegado*.

Tipo de diagrama: Simetría de traslación

Desarrollo de diagramas de plegado a partir de la translación simple de curvas transfiguradas derivadas del sistema EUR R y A. (Fig. 3.) De las múltiples opciones en esta oportunidad elegimos las siguientes curvas transfiguradas a saber: parábola cónica y recta que pasa por el origen de coordenadas (Fig. 3) y la función cúbica. (Fig. 4.) En estos casos el correlato morfológico entre el diagrama de plegado y la superficie espacial se podría asociar organizaciones topológicas. (Fig. 5).

Tipo de diagrama especial

Este tipo de diagrama (Fig. 9.) fue diseñado para facilitar la manipulación del plegado en papel; debido a que a los estudiantes les resultaban sumamente complejos otros diseños de plegado curvo. Se optó por replicar, centrada en el "eje Y" una la gráfica perteneciente a una función cúbica transfigurada derivada

del EUR R. Cuando la gráfica de la curvatura cambia a cóncava, en cada semi espacio se le adiciona un segmento de recta para facilitar la generación manual de la superficie espacial brindando asimismo un equilibrio visual formal, concebido por el par opositivo recta-curva, estimulando la lectura poética, es decir estimulando la lectura poética, dialectica de la curva y la recta.

Superficies espaciales plegadas

Se verificó la correspondencia entre los diagramas de plegado y la generación de superficies espaciales. Al reflexionar sobre dichas espacialidades se observó que abarcan múltiples conformaciones conceptuales y materiales que van más allá de los ángulos tradicionales y la línea recta. Generando así formas fluidas, orgánicas y geométricamente complejas que se contrastan con la geometría euclídea tradicional; en consecuencia cambia el modo de concreción de la forma. En la mayoría de los casos es necesario el modelado CNC o robótica arquitectónica.



Figura 6. Tipo de Diagrama de Plegado Curvo. (Parábola cónica)

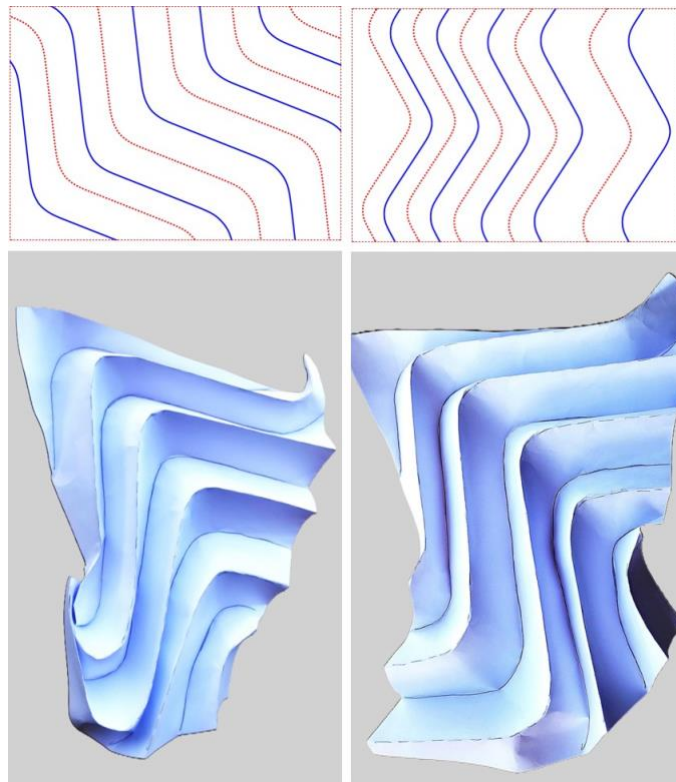


Figura 7. Tipos de Diagramas de Plegado (recta por el origen de coordenadas)

La transferencia

La transferencia de conocimientos se concretó a través de la enseñanza en carrera de grado de arquitectura de la UAI, sede Buenos Aires. En la asignatura *Laboratorio de Materia y Forma*, de segundo año, dictado cuatrimestral de 2 horas semanales. La ejercitación tuvo varios objetivos pero por sobre todo poner a prueba y sociabilizar la investigación que desde hace tiempo y de manera abstracta estamos desarrollando.

El trabajo con los estudiantes fue muy interesante y se sorprendieron con la estrategia generativa del plegado curvo es decir, pasar de la bidimensión al espacio tridimensional; así como de las novedosas conformaciones obtenidas. Luego a modo integración, con el plegado curvo obtenido exploraron atributos pertinentes a la forma arquitectónica. En consecuencia, se diseñaron dos instancias breves a saber:

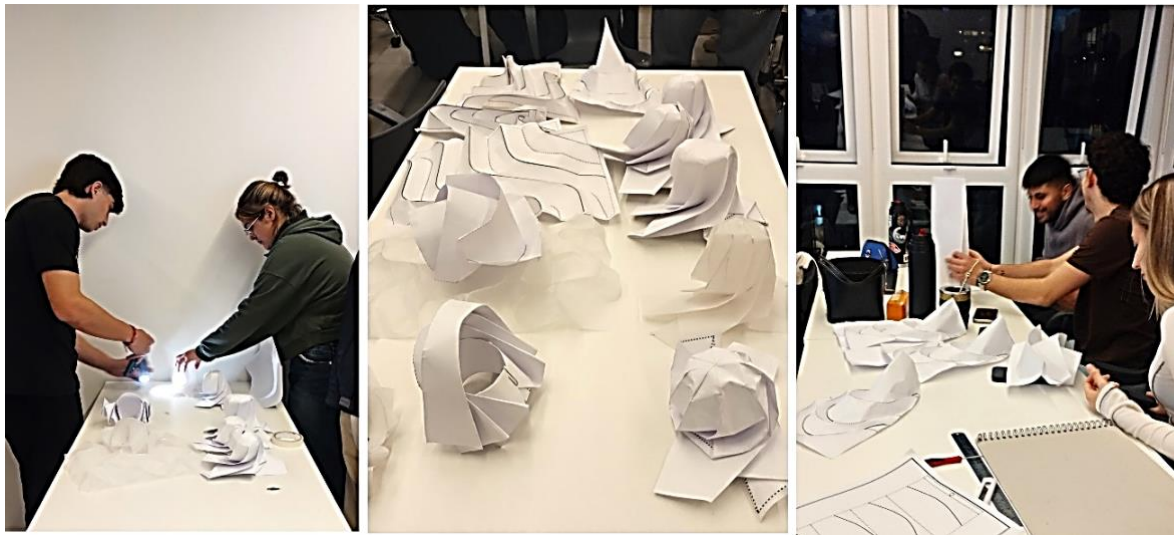


Figura 8. Trabajo en el aula-taller 2025

Utilizando motores de IA en la primer instancia debían relacionar al plegado curvo obtenido con la biomimesis y la arquitectura sustentable, con el objetivo de concientización ecológica y cumplir con los lineamientos académicos de la UAI. Resultó positivo trabajar el plegado curvo desde un entorno sustentable que respete al ambiente, desde los primeros años de la carrera. Pudieron observar en la naturaleza muchas formas sabias y relacionarlo con plegados curvos como, por ejemplo, las alas de los pájaros, las formas cóncavas de las hojas de un árbol, los pétalos de las flores que se curvan para adaptarse y así captar mejor los rayos solares; estructuras y formas armónicas capaces de adaptarse al entorno, como formas cambiantes y no como un hecho arquitectónico rígido. Establecieron interesantes relaciones entre los plegados curvos obtenidos y la biomimesis. Y en segunda instancia también utilizando motores de IA y debían generar espacio arquitectónico y proponer materialización, definir usos, escala, contexto, etc. En ambas instancias se obtuvieron resultados muy creativos.

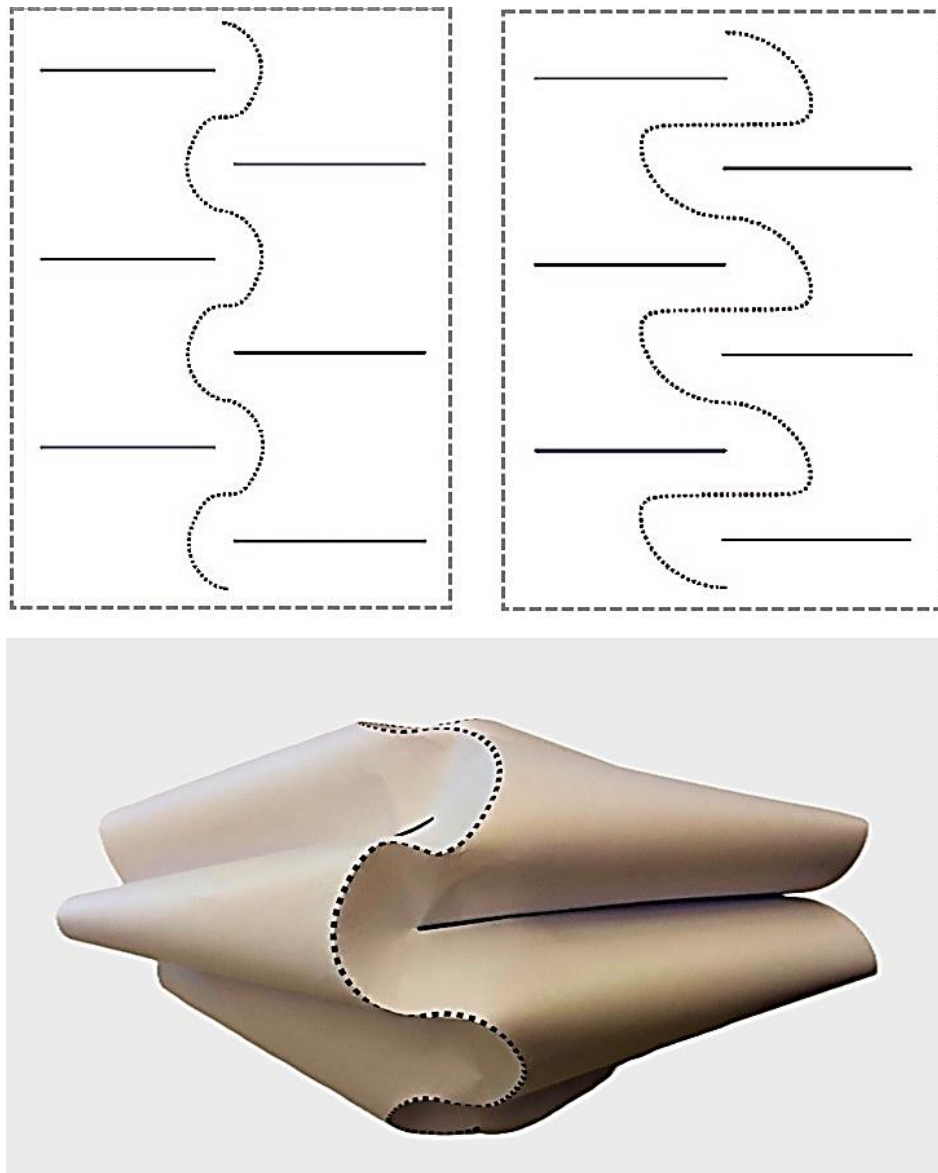


Figura 9. Variantes de Diagramas de plegado (Función Cúbica)

Diagrama simplificado para que los estudiantes experimenten y puedan realizarlo durante la clase. Tipo de diagrama simplificado conformado con solo una curva central y unitaria que en el semiespacio cóncavo se agrega un segmento de recta.

Discusión/Conclusiones

En este primer abordaje del estudio del plegado curvo se decidió limitar el objeto de estudio para mejorar la metodología empleada.

Para avanzar con nuestra investigación y con la necesidad de articular en una misma forma no solo los atributos geométricos, estéticos y generativos sino también integrar la dimensión material, comunicacional, respetando al ambiente. Se diseñaron entonces 2 instancias de integración empleando motores de IA como *Sora*, *Midjourney*, *Leonardo AI*. La primera instancia consistió en relacionar el plegado curvo con la Biomimesis y a partir de fotografías del plegado curvo, la segunda instancia, consistió en plantear espacialidad arquitectónica definiendo materialidad, escala, usos y contexto.

El estudio morfogenerativo del plegado curvo es muy amplio, este es solo el comienzo. El resultado de la experiencia en el aula-taller abrió nuevas preguntas de investigación. A partir de esta experiencia de transferencia se pudo observar que muchas de las formas pertenecientes a la arquitectura contemporánea se obtienen de manera sistemática en el modelo EUR R y A.

Bibliografía

Alonso Salguero, M.; [et al.] (2028) Los campos de la morfología. Una reflexión crítica sobre solapamientos y deslindes. SI+ CAMPOS XXXII Jornadas de Investigación XIV Encuentro Regional

Demaine, E., Demaine, M. & Koschitz, R. D (2008) Curved Crease Origami. En: Proceedings of Conference: Advances in Architectural Geometry, Vienna. Recuperado el 15/06/2024 de

<https://architecture.mit.edu/computation/publication-old/curved-crease-origami>

Demaine, E., Demaine, M. & Koschitz, R. D (2008) Curved Crease Origami. En: Proceedings of Conference: Advances in Architectural Geometry, Vienna. Recuperado el 06/07/2024 de

<https://architecture.mit.edu/computation/publication-old/curved-crease-origami>

Doberti, R. & Giordano, L. (2020) Sistemática de las conformaciones. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Infinito.

Koschitz, R. D. (2014) Computational design with curved creases: David Huffman's approach to paperfolding, Thesis: Ph. D. in Architecture: Design and Computation, Massachusetts Institute of Technology, Department of Architecture, 2014. Recuperado el 23/05/2024 de <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/93013>

Misuraca, A.; Abaca, A. [et al]. (2007) Merodeando la Forma: Atravesamientos y Tangencias. 1ª Ed. Buenos Aires, Argentina: IEH, FADU UBA.

Muñoz, P. "Curve folding in form generation with digital fabrication". SIGraDi 2022. Critical Appropriations | Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Qualitto, Vicenta. (2004) ¿Ambientar Proyectos o Proyectar Ambientalmente? ¿Qué enseñamos en Arquitectura? 1º Ed. Buenos Aires, Argentina. UAI Editorial Teseo.

<https://www.designboom.com/architecture/13th-international-architecture-exhibition-arum-by-zaha-hadid/> . Recuperado el 9/8/2024

Richard Sweeney

<https://richardsweeney.co.uk/pages/selected-works.html>

<https://www.robifold.com/make/software>

Zaha Hadid

<https://erikdemaine.org/curved/MoMath/>

Erik Demaine

<https://www.pratt.edu/work/morphology-studios-2014-2015/>

Haresh Lalvani / School of Architecture, Center for Experimental Structures