

CINEMÁTICA Y CIMÁTICA EN LA GENERACIÓN DE LA FORMA ARQUITECTÓNICA

Álvaro Coria

Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño Universidad Nacional de Córdoba.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4751-1460>

E-mail: alvaro.coria@unc.edu.ar

Silvina Barraud

Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño Universidad Nacional de Córdoba.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5188-3905>

E-mail: silvina.barraud@unc.edu.ar

Carlos Merlo

Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño Universidad Nacional de Córdoba.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3394-6519>

E-mail: arq.carlosmerlo@gmail.com

Resumen

El artículo se enmarca en la investigación “Órdenes geométricos y disciplinariedad cruzada en la generación de la forma arquitectónica contemporánea” que integra conocimientos y métodos de diversas disciplinas para precisar estrategias contributivas de la enseñanza de la morfología arquitectónica.

La metodología se basa en la identificación de principios de orden, leyes y patrones con potencial capacidad de sistematización, transferencia y aplicación para la generación formal. Se sustenta en la búsqueda de leyes y principios en disciplinas que favorezcan el desarrollo de trazados geométricos.

La disciplinariedad cruzada o unidireccional (Di Castri y Hadley, 1986) implica que la solución a un problema, en campos científicos, resulta del cruce o utilización de axiomas y métodos de una disciplina por otra, con razones y objetivos diferentes, sobre un tema no necesariamente común. En este caso, como modo de interpretación o reinterpretación, con objetivo disciplinario específico: enseñar morfología.

La investigación es cualitativa, su diseño metodológico es bibliográfico, exploratorio y experimental. Primero se concreta una fase documental de búsqueda y clasificación de casos, y la segunda instancia se enmarca como investigación proyectual. Se indaga para generar conocimientos mediante el proceso proyectual, desde la transferencia. Convergen, para ser transferidas, indagaciones en la cinemática y en la cimática.

Palabras clave: Morfología arquitectónica, Orden geométrico, Disciplinariedad cruzada, Cinemática, Cimática

Fecha recepción: 30 de marzo de 2021

KINEMATICS AND CYMATICS IN THE ARCHITECTURAL FORM GENERATION

Abstract

The article is part of the research "Geometric orders and cross disciplinarity in the generation of contemporary architectural form" that integrates knowledge and methods from various disciplines to specify contributory strategies for the teaching of architectural morphology.

The methodology is based on the identification of principles of order, laws and patterns with potential capacity for systematization, transfer and application for formal generation. It is based on the search for laws and principles in disciplines that favor the development of geometric lines.

The cross or unidirectional disciplinarity (Di Castri and Hadley, 1986) implies that the solution to a problem, in scientific fields, results from the crossing or use of axioms and methods of one discipline by another, with different reasons and objectives, on a subject not necessarily common. In this case, as a mode of interpretation or reinterpretation, with a specific disciplinary objective: to teach morphology.

The research is qualitative, its methodological design is bibliographic, exploratory and experimental. First, a documentary phase of search and classification of cases is specified, and the second instance is framed as a project investigation. It is investigated to generate knowledge through the project process, from the transfer. Convergence, to be transferred, inquiries into kinematics and cymatics.

Keywords: Architectural morphology, Geometric order, Crossdisciplinarity, Kinematics, Cymatics

Fecha aceptación: 09 de diciembre de 2021

Introducción

La investigación, de la cual deriva este artículo, explora principios de orden alternativos y divergentes a los órdenes clásicos que se emplean habitualmente en la arquitectura con intención de aportar a la enseñanza del proceso proyectual en el campo de la morfología. Resultan de interés las estructuras conceptuales y técnicas que se alojan en campos del conocimiento externos, con potencial para su traspaso a la disciplina. La atención se coloca en campos del conocimiento como: Biología, Física, Geología, Hidrología, Matemática, Óptica y Mecánica. El sentido de explorar en estas disciplinas orienta la identificación de patrones vegetales, animales, geológicos, meteorológicos, aerodinámicos, ópticos y lúdicos, con potencial para su ensayo y sistematización como prácticas que apuntan a la generación de formas arquitectónicas. Esta estrategia vinculante de ciencia y pedagogía aborda la instancia inicial o de prefiguración del proceso proyectual y se caracteriza por entremezclar saberes, según el sentido que le confiere la conceptualización de la “disciplinariedad cruzada”. A partir de ello permite construir conocimiento desde la propia experimentación en las aulas que se convierten en talleres o laboratorios para la exploración proyectual. En ese contexto, el rol estudiantil es clave en términos de participación activa.

En cuanto a antecedentes que aborden la temática, se acude a aquellos que se valoran como adecuados y pertinentes que aportan por su especificidad; esto independientemente del contexto temporal en el que se despliega. Al respecto determinados antecedentes desarrollados en otros momentos de la historia resultan de sumo interés, y a modo ilustrativo global, puede mencionarse el material sistematizado en los volúmenes editados por Martineau (2014/2016): *Quadrivium, Designa, Scientia, Trivium y Geomancia*.

Es objetivo de la investigación: explorar y sistematizar, mediante un enfoque caracterizado por la disciplinariedad cruzada, órdenes geométricos provenientes de diversos contextos del conocimiento, así como también estructurarlos para definir derivaciones técnicas-procedimentales específicas, para la generación de la forma arquitectónica contemporánea.

Se acude al conocimiento de la física, como campo externo, para explorar posibilidades y ensayar prácticas que aporten a la configuración de la espacialidad arquitectónica, a partir de sus ramas: cinemática y cimática.

El concepto cinemático proviene del griego *Kinema* y significa “movimiento”; y como campo del conocimiento estudia precisamente el movimiento, aunque prescinde de las fuerzas que lo producen, es decir limita su estudio a las trayectorias de movimiento. En cuanto a la cimática, el vocablo tiene su raíz etimológica en la palabra de origen griego *kyma*, y significa “onda”, la misma “se encarga del estudio de las representaciones visuales de las ondas de sonido y los fenómenos periódicos de vibración sobre la materia” (Lega-Lladós, 2015, p. 124). En cuanto a su denominación, se caracteriza también por el dinamismo temporal y cambios asociados, ya que inicialmente (a finales del siglo XVIII) este fenómeno se conoce como: “figuras de Chladni”. Posteriormente, en la década del 60 del siglo XX encuentra su denominación actual; y en 1964 Hans Jenny propone el término “cimática” que se aplica desde entonces. Además, el mencionado autor, consolida el campo de estudio con sus aportes, por medio de la incorporación de equipos y tecnologías que posibilitan ampliar los trabajos con mayor grado de precisión.

En lo que respecta a los puntos de contacto y similitudes, la cinemática y la cimática estudian fenómenos periódicos, tanto vibratorios como oscilatorios, es decir que se enfocan en el abordaje de aquellos cambios que se repiten con cierto grado de regularidad. Y en términos de discrepancias, los recientemente mencionados fenómenos periódicos se diferencian entre sí por su velocidad, por ejemplo, un recorrido de vaivén entre dos puntos, se llama vibratorio si es rápido y oscilatorio si es lento. Por lo tanto, y con ese criterio, se puede establecer la diferencia entre ambos, y determinar que la cinemática centra sus estudios en fenómenos periódicos de oscilación mientras que la cimática se centra en fenómenos periódicos de vibración. En relación a las manifestaciones de la periodicidad, Jenny plantea que estas se pueden reconocer en la naturaleza, en diversos sistemas “...en los que todo existe en un estado de vibración, oscilación y pulsación continuos, ritmos (...) en el latir del corazón, en la circulación de la sangre y en el proceso de la respiración...” (2001, p. 21).

Se puede afirmar que esencialmente en el caso de la cimática se trata de un fenómeno audiovisual, ya que tal como argumenta y expone Jenny “se puede oír lo que se ve y ver lo que se oye” (2001, p. 23). Implica una relación entre sonido, materia y forma, a través de la cual puede experimentarse visualmente la impresión auditiva. En tanto que las trayectorias de un péndulo, permiten plasmar una imagen sobre un plano horizontal, en una manifestación cinético-visual en el caso de la cinemática.

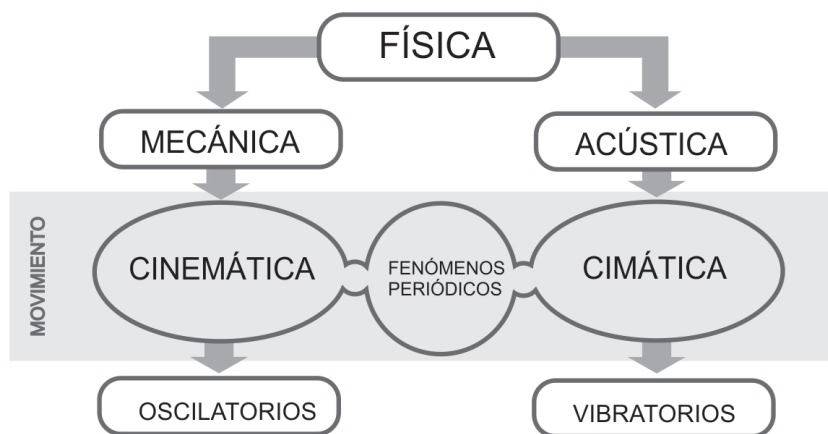


Figura 1. Cuadro comparativo de los fenómenos estudiados por cada disciplina. **Fuente:** elaboración propia.

1. Cinemática (patrones de movimiento oscilatorio)

El movimiento de los cuerpos ha sido objeto de análisis y forma parte del desarrollo científico y tecnológico de la humanidad, los primeros documentos se remontan a más de dos milenios atrás, asociados con distintas ramas científicas como la astronomía, geometría y filosofía. En el año 1600 Galileo Galilei desarrolla los estudios sobre caída libre y el movimiento del péndulo que establecen las bases para una ciencia experimental, la cual comienza con la medición precisa del tiempo. El término cinemática y el enfoque científico de la disciplina actual son introducidos por Ampère, en un ensayo sobre la clasificación de las ciencias que establece los límites del contenido de esta materia dentro del campo de la física mecánica.

Se considera como uno de los primeros antecedentes a los estudios realizados por Lissajous (1850) que definen la trayectoria de un movimiento armónico, complejo y bidimensional, de manera visual a través de las denominadas curvas o figuras de Lissajous. En esa instancia, las producciones se realizan mediante un dispositivo, el cual consiste en un haz de luz que se refleja desde un espejo sujeto a un diapasón (instrumento de acero doblado en forma de horquilla que al sonar, vibra 440 Hz por segundo, correspondientes a la nota “la” para regular voces e instrumentos musicales). El haz de luz, al proyectarse sobre un plano genera curvas o figuras que varían su forma según la frecuencia del sonido, como se ilustra en la figura 2. A partir de esta experiencia inicial, comienza el desarrollo de otros instrumentos y aparatos entre los que se encuentran desde los simples péndulos de tinta o arena hasta los espirógrafos y armonógrafos.

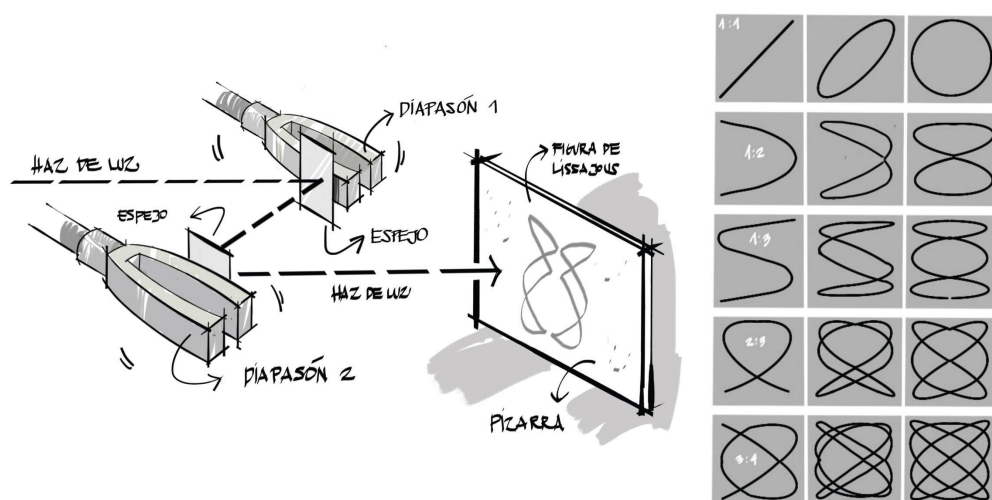


Figura 2. Experimento Lissajous. **Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a los mencionados instrumentos, los mismos se identifican por las características que a continuación se despliegan:

El péndulo de arena o tinta es un instrumento simple que consta de un hilo o cuerda en cuyo extremo posee un recipiente que contiene las sustancias y permite dejar plasmado en un plano horizontal el recorrido o la trayectoria del movimiento pendular. Con el mismo concepto se genera el péndulo esférico de Foucault, que puede moverse en cualquier dirección en relación a un plano horizontal.

El espirógrafo consiste en una serie de engranajes o ruedas circulares que giran unas sobre otras. Los diferentes tamaños y formas de los engranajes posibilitan desarrollar diversidad y variedad de trazados y combinaciones. Las curvas que se generan —estudiadas por Leibniz y Newton en el Siglo XVII— son de la familia de las hipotrocoides y epitrocoides. Se trata de curvas planas que describen puntos vinculados a circunferencias generatrices y que se mueven dentro de circunferencias directrices, tangencialmente, y sin deslizamiento.

El armonógrafo es un instrumento mecánico que utiliza péndulos para la generación de figuras lineales mediante el movimiento de un elemento estilográfico con cartucho de tinta en relación con una superficie plana. Uno de los péndulos mueve el estilógrafo a lo largo de un eje y el otro péndulo mueve la superficie de dibujo en un eje perpendicular. Al variar la frecuencia de los péndulos, se crean diferentes patrones. Los armonógrafos más sofisticados, pueden incorporar tres o más péndulos unidos entre sí y dibujar figuras combinadas.

Además, existen programas informáticos que se desarrollan para la generación de modelos de trazados de curvas oscilatorias de manera digital que simulan la combinación de diferentes tipos de movimientos, por lo tanto, se pueden explorar trayectorias complejas. Estos programas poseen variables de parámetros como la frecuencia y amplitud para generar trayectorias en dos y tres dimensiones.

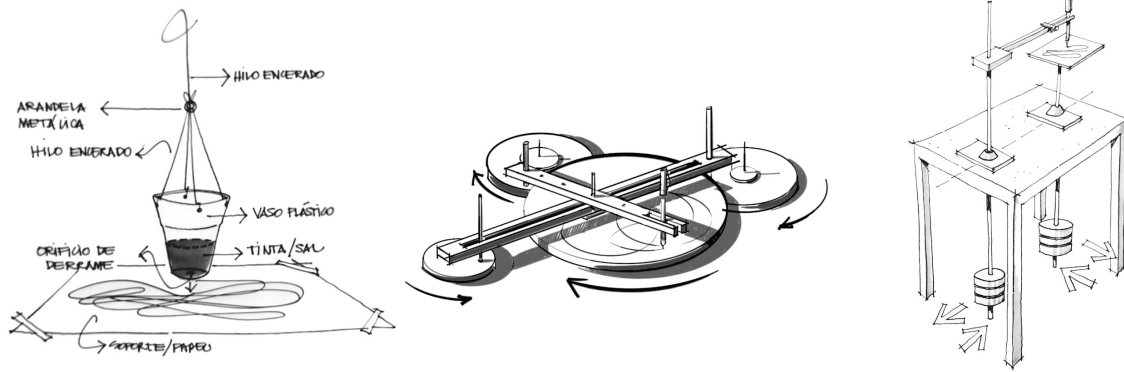


Figura 3. Péndulo de arena. Espirógrafo mecánico. Armonógrafo. **Fuente:** elaboración propia.

En el campo del conocimiento de la arquitectura, se pueden referenciar proyectos relacionados con la idea o con el concepto de movimiento en su resolución formal espacial, como es la obra de Zaha Hadid: *Twist* (Milán, 2018) en la que se aplican las trayectorias de movimiento en la expresión formal y espacial de la propuesta; aunque es en el campo del arte cinético donde se encuentra la mayor cantidad de obras de referencia. Las mismas se categorizan según el tipo de movimiento que las identifica en: movimiento aparente como ocurre con la obra de Julio Le Parc y movimiento real, que se evidencia con preponderancia en la obra de Alexander Calder. En esta última línea se pueden destacar también como antecedentes obras de Naum Gabo, en las cuales se plantea una relación asociada entre el movimiento y las trayectorias, ya sean estas reales o aparentes; y que se caracterizan tanto por el abordaje en su configuración plástica como en los aportes conceptuales que contribuyen a la definición de su obra escultórica.

Se reconocen por otra parte, trabajos realizados con péndulos de tinta y armonógrafos complejos que resultan de interés para la investigación en la etapa de indagación de las trayectorias de movimiento, como los desarrollados por James Nolan Gandy.

2. Cimática (patrones sonoros de vibración)

Los inicios de los estudios en cimática están vinculados con el origen y desarrollo de la acústica experimental, aunque también se reconocen antecedentes específicos que pertenecen a experiencias desarrolladas en este campo, como es el caso de las investigaciones realizadas por Robert Hooke, quien en 1680 desarrolla un instrumento constituido a partir de una pieza de cristal que se cubre con harina, la misma al ser frotada con el arco del violín produce imágenes debido a las vibraciones. Tiempo después, el físico alemán Ernest Chladni indaga en estos fenómenos con mayor grado de profundidad y rigor científico, y es en su tratado *Die Akustik*, (tratado de acústica) publicado en 1802, en el que se explican los procesos denominados fenómenos de formación nodal (así denomina inicialmente a los efectos de la vibración sobre la materia, en referencia a los sectores de las placas en los que la vibración es nula), sobre diferentes materiales, y realiza una serie de experimentos a partir de los cuales sistematiza las figuras resultantes, y llega a desarrollar una ecuación elemental que explica estos fenómenos.



Figura 4. Registro de la secuencia de transición en figuras de Chladni, realizado en el taller. **Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a la relación concreta entre cimática y acústica, ambas estudian el sonido y su interacción con cuerpos físicos. Respecto a sus particularidades, la acústica estudia la producción, transmisión, recepción, control y audición de los sonidos, ultrasonidos e infrasonidos, así como la propagación de las ondas sonoras en los diferentes tipos de medios continuos y la interacción de estas con los cuerpos físicos; la cimática estudia fenómenos de carácter acústico, mecánico y óptico, a través de los cuales el sonido, entendido como suceso periódico vibratorio, afecta a la materia y como resultado de esta interacción se producen figuras que revelan ciertos patrones, también denominadas figuras sonoras, es decir, tal como argumenta Jenny: “se ocupa principalmente de la demostración experimental de fenómenos en el rango acústico y de ultrasonidos inferiores” (2001, p. 20).

Los ensayos llevados a cabo por Chladni, sientan el antecedente experimental específico. Uno de sus ensayos consiste en esparcir materiales granulares, como por ejemplo arena sobre una placa metálica, la misma se somete a la fricción de un arco de violín. Como producto de las vibraciones que se producen en la placa, estos materiales se desplazan desde las áreas de mayor vibración hacia las de vibración nula, y como resultado se producen imágenes posteriormente denominadas figuras de Chladni. El propio Chladni registra y sistematiza el resultado de estas experiencias a través de representaciones gráficas de los patrones y de la frecuencia de vibración correspondiente a cada una de ellas.

En esa dirección también, pero en 1967, Hans Jenny desarrolla el estudio de los efectos del sonido en la materia e incorpora ensayos con diversos fluidos en sus investigaciones. Posteriormente registra y sistematiza las producciones de los experimentos empíricos y fenomenológicos. Estos varían en su mayor grado de precisión respecto de sus antecesores como consecuencia de la utilización de tecnologías que permiten controlar las frecuencias de vibración.

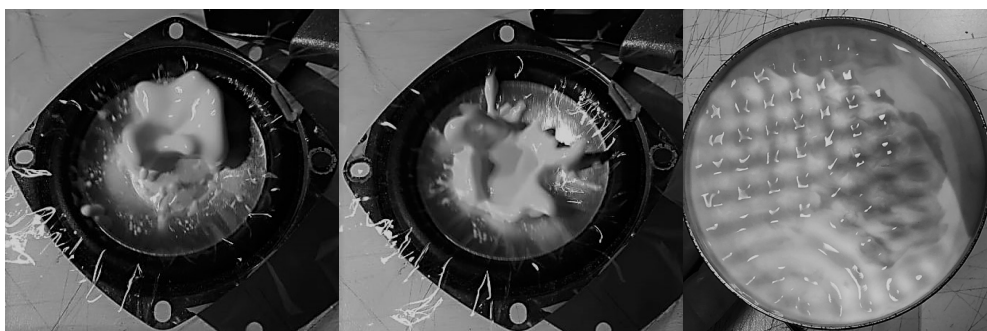


Figura 5. Configuraciones con diferentes grados de regularidad en fluido (agua y maicena) resultado de la exploración en el taller. **Fuente:** elaboración propia.

El objeto de estudio de la cimática, es la generación, análisis y clasificación de las representaciones visuales denominada imágenes sonoras, y como Jenny explica el objetivo de la “...exploración de este campo es encontrar métodos para dar una expresión tangible a esta fenomenología” (2001, p. 20). Por lo tanto, prescinde del estudio de las causas de los fenómenos periódicos o de sus efectos desde una perspectiva física, acústica o matemática.

Finalmente se expone que las representaciones visuales de los efectos que tienen los fenómenos periódicos de vibración, como el sonido sobre la materia, son estudiadas por la cimática, por lo tanto, la característica sustancial como explica Jenny, es el producto de los “efectos de las vibraciones” (y no las causas que las producen) y agrega: “La fase que hemos alcanzado en nuestro estudio se caracteriza por el descubrimiento de un espectro de fenómenos.” (Jenny, 2001, p. 111). Pueden describirse como: figuras, patrones organizados, texturas, en tanto imágenes estáticas; y como procesos ondulatorios turbulencias, cinética, dinámica, en tanto configuraciones en movimiento.

En cuanto a la aplicación de la cimática en disciplinas vinculadas al diseño y arte, encontramos ejemplos de creación artística mediante procesos cimáticos, en los cuales se desarrollan métodos y técnicas de aplicación del sonido y sus representaciones visuales. Podemos mencionar a Mikel Arce cuyo campo de investigación es el arte sonoro, quien en su obra WAV (2004) realiza la formación de patrones en una superficie de agua sobre planchas metálicas. También el artista Nicolai Carsten, desarrolla experimentos con sonidos en su obra Antem (2012) que evidencia los patrones producidos por el sonido sobre la superficie del agua alojada en recipientes de cristal. Si bien estos ejemplos se presentan como antecedentes de la utilización de la cimática en otras disciplinas, en los casos expuestos no se utilizan los patrones resultantes como recursos para establecer órdenes geométricos para su aplicación en la configuración de las obras artísticas o arquitectónicas.

En este sentido, luego de exponer el inicio, desarrollo y campo de estudio de la cinemática y la cimática, se presenta una oportunidad para replicar experimentos de ambas disciplinas y abordarlos desde la morfogénesis en arquitectura. De esta manera el proceso de generación de la forma, encuentra un proceso alternativo mediante la generación de trazados reguladores construidos a partir de los patrones periódicos oscilatorios y de vibración.

3. Metodología: ensayos proyectuales

La experiencia, realizada en la investigación, se desarrolla en el ámbito de la cátedra de Morfología 2 B, de la Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba y se despliega mediante un ensayo proyectual realizado en conjunto con estudiantes. Este consiste en el desarrollo de experimentaciones cinemáticas y cimáticas. Como parte del proceso se realiza un registro gráfico y fotográfico de los patrones resultantes de dichos experimentos, con los que se construyen trazados reguladores que en el proceso proyectual participan en el diseño de un espacio proto arquitectónico.

En estas experiencias, la trasdisciplina es entendida como transferencia y se acude al uso de categorías, leyes, técnicas, modelos o principios de aplicación para el proceso proyectual. Se manifiestan así herramientas con base en principios y fenómenos pertenecientes a campos disciplinares que posibilitan la construcción de trazados reguladores con potencial de aplicación a la enseñanza de la morfología.

La experiencia presenta una secuencia en la que se pueden identificar tres momentos que forman parte de la etapa de ideación del proceso proyectual; en el primer momento se realizan los ensayos experimentales de cinemática y cimática, producto de los cuales se obtienen patrones que son registrados mediante fotografías y videos. Las imágenes obtenidas se ordenan, sistematizan y clasifican. A partir de ellas se despliega el segundo momento que se identifica como de análisis geométrico, y que concluye con la construcción de trazados reguladores en dos y tres dimensiones. Por último, se define el tercer momento que posibilita la construcción tridimensional para generación de la forma arquitectónica.

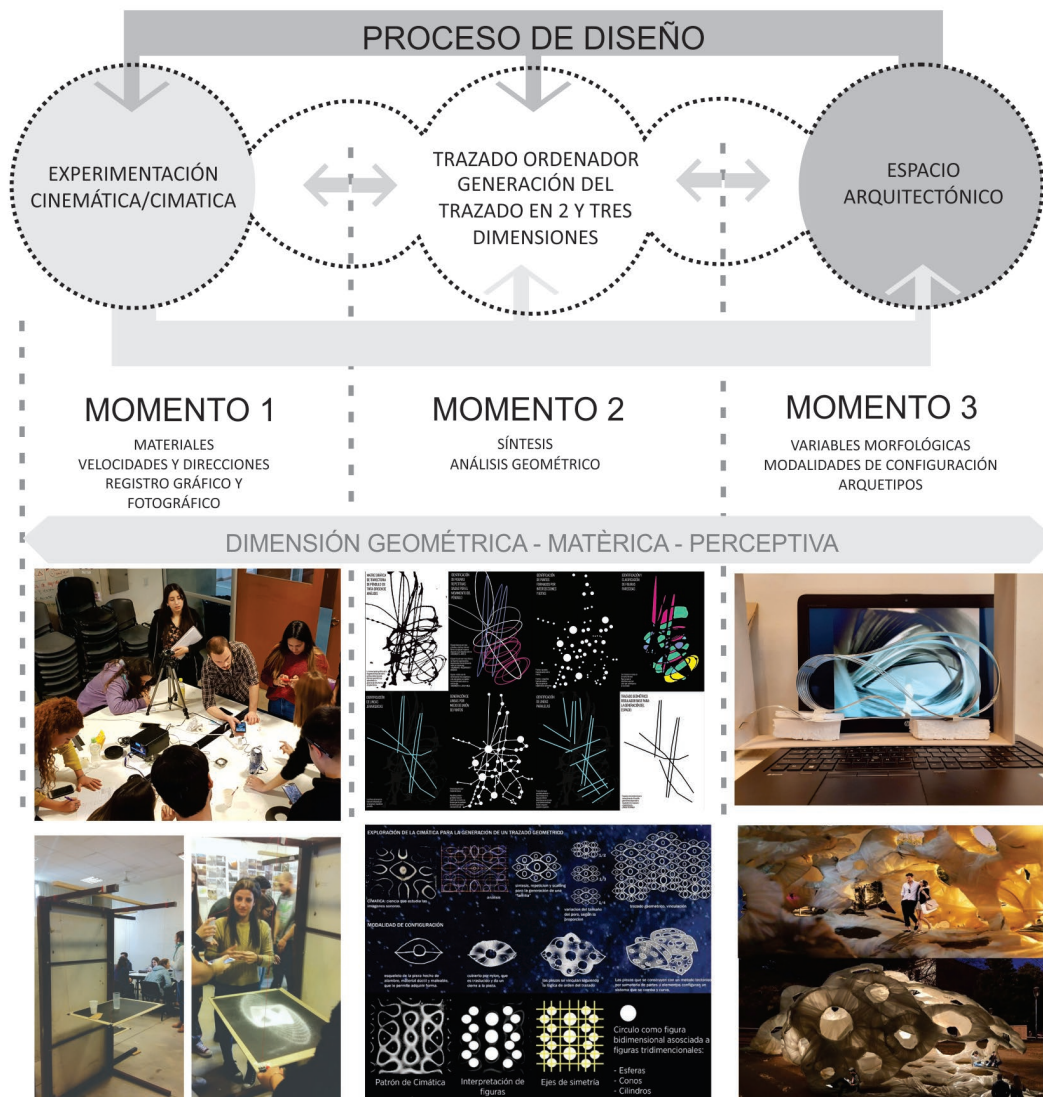


Figura 6. Secuencia didáctica propuesta para el desarrollo de la experiencia. **Fuente:** elaboración propia.

La experiencia se sintetiza en reconocer, indagar, experimentar con distintos instrumentos o artefactos que posibilitan la generación de patrones, algunos estáticos y otros dinámicos con los cuales es posible “representar movimientos”; esto puede caracterizarse como hacer visibles fenómenos para comprender, clasificar y tabular los resultados. Esto permite transferirlos con un enfoque trasdisciplinario a matrices gráficas que alimentan el proceso de diseño en el ámbito de la arquitectura, entendiendo a éste como medio para la generación morfológica del espacio y al proceso como no lineal, debido a la constante retroalimentación entre las ideas y procedimientos.

3.1. EXPERIENCIA CINEMÁTICA. Patrones oscilatorios, imágenes pendulares, trazados reguladores y espacio arquitectónico

De las primeras experiencias, vinculadas a unidades didácticas particulares de la materia, surge un elenco de representaciones de trayectorias realizadas con péndulos. Se utilizan péndulos simples que disponen de un embudo para su carga con tinta y sal. Los mismos permiten trazar la trayectoria de sus movimientos sobre superficies planas

suspendidas por hilos, que pueden moverse de forma oscilatoria. En términos de intenciones asociadas a la experiencia, esta condición favorece la complejidad geométrica de los trazados, y cada trayectoria deviene en matriz gráfica para el desarrollo de los trazados geométricos.

La experiencia se organiza en tres instancias, en un primer momento se experimenta directamente con el péndulo y se utiliza tintas (base de témpera y agua) y sal. La intervención se caracteriza por el movimiento pendular, con cambios de dirección de la oscilación, frenando y nuevamente movimiento por empuje del péndulo.

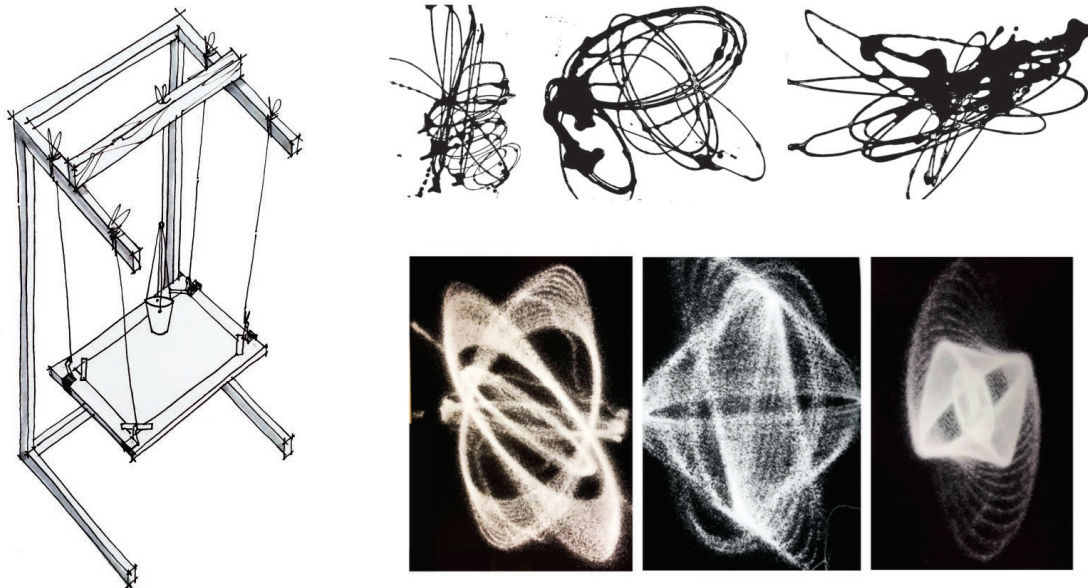


Figura 7. Péndulo utilizado y trazados realizados con tinta y sal. **Fuente:** elaboración propia.

La segunda instancia, luego de la experimentación y registro de los trazados pendulares, comienza con el procesamiento de la información recabada; y consiste en el análisis gráfico de los trazados obtenidos, para identificar criterios de orden geométrico subyacentes a través de sus componentes esenciales (el punto, la línea, el plano) y relaciones entre ellos. Como deriva se identifican distintas estructuras geométricas emergentes de la trayectoria. La información se desglosa en distintas capas o layers, que permiten, además, la interrelación gráfica.

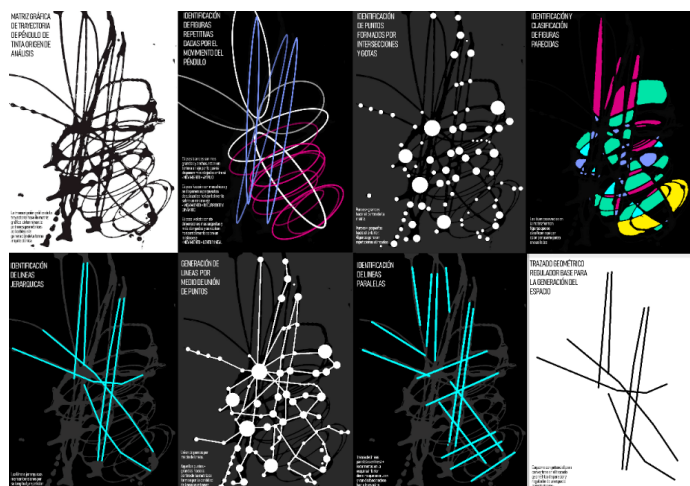


Figura 8. Síntesis reconocimiento geométrico. **Fuente:** elaboración propia.

En la tercera instancia, se propone la selección de estructuras geométricas emergentes de las trayectorias, o de varias relacionadas que generan bases de trazados geométricos, para avanzar en el proceso de diseño del espacio arquitectónico.

Dentro de la diversidad de resultados encontrados se observa algunos procedimientos que fueron utilizados de modo reiterado para la generación de los trazados, como la superposición de los trazados generados por el péndulo en función de un criterio específico, para operar luego con ello en la generación del espacio, la ampliación de un sector del trazado generado por el péndulo, entendiéndose que en ese zoom se observaba algo de interés formal o geométrico en particular. Con esos procedimientos se persigue la intención de complejizar los mismos. Finalmente se acude a un proceso de síntesis y geometrización lineal, que posibilita el reconocimiento de elementos básicos y relaciones geométricas, el mismo concluye con la definición de un trazado geométrico.

Se aborda la transcripción gráfica de las trayectorias generadas por los movimientos de los cuerpos, a través de su geometría como insumo en el proceso de generación de la forma en arquitectura.

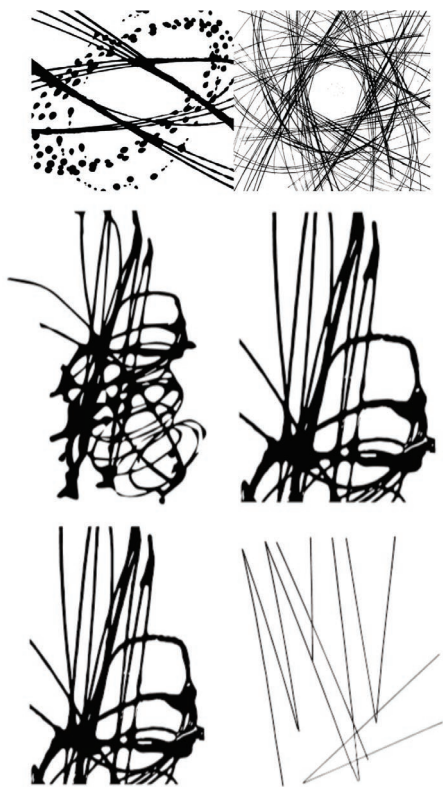


Figura 9. Proceso de síntesis y superposición de los trazados. Ampliación de sector de trazado por medio de aplicación de *zoom* sobre fragmentos de las imágenes. Síntesis geométrica lineal. **Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a lo experimental, se considera conveniente ajustar algunos aspectos, particularmente asociados con el despliegue de las experiencias con grupos de estudiantes, como incrementar cuantitativamente los péndulos, y en la medida de ser esto posible, contar con uno por cada grupo de estudiantes, para optimizar recursos temporales. Esto debido a que la modalidad de abordaje requiere parámetros, instructivos y protocolos pautados para precisar el registro de los fenómenos.

Con base en lo expuesto se apunta a revisar aspectos y adecuarlos a partir de esa revisión para futuras ediciones. Esos ajustes didácticos -pedagógicos, pretenden fortalecer el procedimiento. Particularmente en lo que refiere a la conformación de grupos de estudiantes, se considera que la variable cuantitativa debe posibilitar la división de

tareas básicas entre integrantes: manejo de péndulos y bases pendulares, registro a través de video y registro fotográfico.

En cuanto al uso del péndulo, se considera adecuado mover el péndulo con una dirección y fuerza inicial, y no intervenir hasta que se frene por completo. Este primer contacto visual del movimiento, permite la comprensión del artefacto, su funcionamiento, así como el reconocimiento de los periodos pendulares y las trayectorias generadas.

En una segunda instancia, se considera necesario experimentar también con el movimiento de la base pendular donde se asienta el papel. Luego, en las sucesivas pruebas, incorporar o interrumpir el movimiento, cambiando las fuerzas iniciales y direcciones del mismo, registrando fotográficamente y con videos estas situaciones.

Además, se sugiere modificar las sustancias utilizadas, para variar la viscosidad de las tintas, e incorporar distintos colores para diferenciar direcciones y fuerzas aplicadas, y conformar “layers” o capas de trayectorias sobre el papel.

Como cierre de la experimentación, se plantea traducir esas experiencias y variables utilizadas en una comparativa de acciones, registro y resultados de la experimentación.

En cuanto al proceso de generación de la forma en base a las trayectorias generadas, si bien se cumple con el objetivo general propuesto de “Abordar, analizar y experimentar las trayectorias de movimiento armónico con el fin de incorporar las mismas al proceso proyectual generador del espacio (...)” esta incorporación se realiza en la mayoría de los grupos en forma parcial y en una primera instancia, como matriz gráfica. Es necesario que estas trayectorias devenidas en trazados ordenadores en una segunda instancia se manifiestan en constante evolución durante todo el proceso de diseño, entendiendo que no es solo la generación de un trazado ordenador que defina la geometría de base a lo propuesto, sino que aporte y posibilite el desarrollo de la espacialidad. En este sentido, es posible indagar e incorporar desde las primeras experiencias las nociones de tridimensionalidad, para que sean parte del proceso, desde los momentos iniciales.

Se destaca que la experiencia con fenómenos cinemáticos en procesos proyectuales arquitectónicos permite abordar desde un enfoque diferente a los tradicionales, las primeras etapas de ideación y desde el punto de vista pedagógico, aporta directamente a la generación de la forma arquitectónica.

3.2. EXPERIENCIA CIMÁTICA. Patrones de vibración, imágenes sonoras, trazados reguladores y espacio arquitectónico

La experiencia comienza con la realización de experimentos cimáticos para la generación de patrones, también denominados imágenes sonoras. Los experimentos se llevan a cabo en el ámbito del taller en conjunto con estudiantes, y consisten en transmitir las vibraciones del sonido a través de equipos que permiten controlar las frecuencias, esto se realiza al hacer vibrar placas, membranas o recipientes sobre los que se encuentran diferentes materiales, tanto sólido granular (arena, bicarbonato, sal), como fluidos con diferentes grados de viscosidad, líquidos como agua, alcohol, tinta o fluidos no newtonianos como fécula de maíz con agua. Los fenómenos se registran de manera fotográfica y filmica. Luego las imágenes se analizan y clasifican. Para su realización se utilizan equipos compuestos de tres partes: altavoces (parlantes que permiten transmitir las vibraciones del sonido); generador de frecuencia (teléfonos celulares y una aplicación para controlar la frecuencia de vibración), y placas metálicas y recipientes vinculados a los altavoces (permiten alojar los materiales que se someten a la vibración). Los materiales utilizados pueden ser sólidos (arena, sal, bicarbonato de sodio, entre otros), líquidos (agua, alcohol, tinta) o fluidos (agua con fécula de maíz). El experimento en concreto consiste en aplicar diferentes frecuencias a los materiales a través de los equipos, y registrar los patrones que se generan.

Los equipos de trabajo están conformados por estudiantes a quienes se les asignan actividades en relación a las etapas propias de experimentos: de generación de los patrones (manipulación de los equipos, generación de

frecuencias y control del material); de observación y registro (registro mediante fotografías y videos); de análisis y clasificación (ordenar cada ensayo mediante una tabla según material y frecuencia) y finalmente de recopilación de datos. De esta manera concluye una instancia exclusivamente cimática.

Los patrones obtenidos en la primera instancia, se emplean en la generación de la forma arquitectónica mediante un proceso que implica en primer lugar, el reconocimiento, clasificación y transcripción gráfica de los mismos, y luego la construcción de trazados geométricos a partir de la detección de repeticiones, patrones o figuras geométricas, que permitan establecer algún tipo de orden en esas imágenes sonoras. Por último, se utilizan los trazados como matrices gráficas, para dar paso a una siguiente instancia de generación de la forma arquitectónica mediante modelos tridimensionales.

Luego de esta primera etapa, se avanza hacia una fase proyectual, en la cual se aplican los trazados y principios de orden identificados, en la generación de la forma arquitectónica. En esta etapa se realiza la representación tridimensional de los trazados a partir de la aplicación de los principios de orden mediante modelos para obtener como resultado un espacio proto-arquitectónico.

Finalmente el abordaje del proceso proyectual en una instancia de aprendizaje y enseñanza, permite concluir que el valor y el aporte de la aproximación a la cimática para obtener patrones como insumo con potencial para aplicarlo en el proceso proyectual arquitectónico, favorece articular saberes diferentes e integrarlos en el desarrollo de una etapa proyectual específica de la morfología, en la instancia de ideación, cuyo objetivo es la generación de la forma arquitectónica, por lo cual se produce la disciplinariedad cruzada.

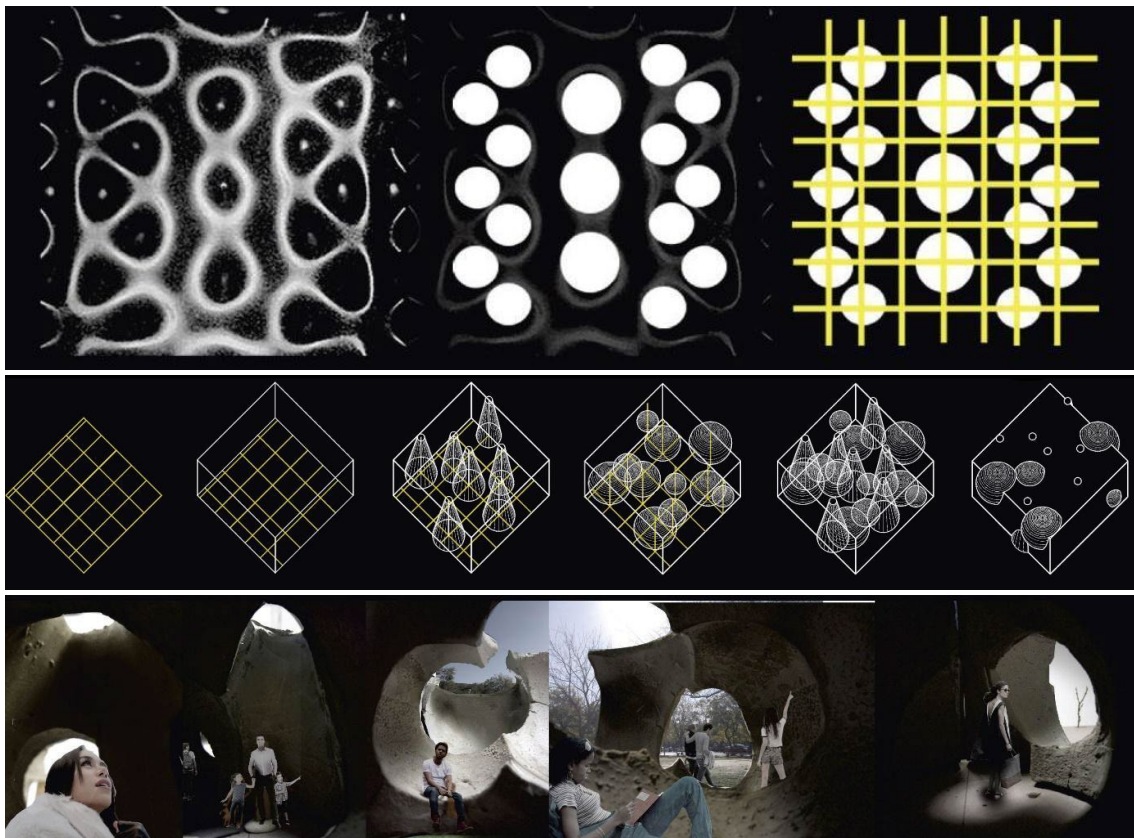


Figura 10. Secuencia del proceso de la experiencia cimática. Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

A partir de las indagaciones y exploraciones realizadas en el contexto del proyecto de investigación que se plantea en vinculación directa con el proceso de formación académica, que se despliegan por medio de ensayos y comprobaciones, se concluye que las exploraciones proyectuales llevadas a cabo desde el enfoque de la disciplinariedad cruzada, (la cinemática y la cimática como campos externos del conocimiento) favorecen la construcción de los trazados reguladores, cuyas estructuras geométricas permiten indagar en órdenes alternativos a los clásicos, para su posterior implementación para la generación de la forma arquitectónica.

Durante las instancias de transcripciones gráficas, se producen transformaciones que nutren y enriquecen el proceso proyectual con sustento argumental en los campos de transferencia analizados

Por otra parte, y en términos de definición del proceso, se detecta la presencia de una serie de etapas que constituyen el trayecto de traducciones de esas imágenes, hasta la obtención del trazado. En cuanto a las alternativas de transcripción es posible una clasificación con base en las características de la misma y que se identifican como: transcripción directa, que acontece cuando el trazado presenta alto grado de coincidencia con las imágenes obtenidas del registro de los fenómenos cinemáticos y cimáticos; transcripción indirecta, que se presenta cuando el trazado manifiesta coincidencia relativa con las imágenes obtenidas del registro; utilización de fragmentos que se constituyen como unidad, por medio de la ampliación de un sector o *zoom*, o superposiciones de diferentes fragmentos de las imágenes obtenidas. En cada una de esas alternativas se evidencian relaciones coherentes entre los trazados reguladores resultantes y las imágenes que participan como iniciadoras del proceso.

En lo que respecta al proceso de morfogénesis desde la disciplinariedad cruzada, se puede compendiar en las siguientes etapas:

- Análisis de las imágenes registradas: consiste en la detección de componentes gráficos (punto, línea y figuras) así como también de las interrelaciones entre esos componentes.
- Detección de patrones: que implica el reconocimiento de las relaciones existentes entre los componentes gráficos, la lectura de sus repeticiones y también de las periodicidades.
- Construcción del trazado regulador: implica la definición del trazado como estructura de orden a partir de la identificación de tramas, teselas, redes, o trayectorias.

En la secuencia de este proceso se realizan permanentes ajustes y adecuaciones, que se asocian con las dinámicas no lineales de los procesos proyectuales y que apuntan a la generación del espacio arquitectónico.

Se valora particularmente la posibilidad de vincular enseñanza con investigación, y transitar un ejercicio integrado, en el que se conjugan los resultados preliminares de la investigación básica, mientras se transfieren al ámbito educativo para su ensayo práctico. La simultaneidad y el paralelismo favorecen su retroalimentación permanente.

A modo de síntesis, la indagación en una primera instancia y por intermedio de patrones bidimensionales, puede complementarse para generar otras exploraciones con diverso grado de complejidad mediante la incorporación del espacio (imágenes tridimensionales), tanto en el desplazamiento del péndulo que describe trayectorias en las tres dimensiones espaciales, como en el caso de los fluidos sometidos a ciertas frecuencias que reaccionan en configuraciones tridimensionales. Lo mencionado abre nuevas líneas de exploración para futuras investigaciones.

Con la dinámica que favorece la disciplinariedad cruzada se genera un bagaje de información múltiple de carácter conceptual y operacional que contribuye en el proceso de diseño y que en cada caso aporta, desde los cruces singulares o desde los traslados específicos.

El siguiente cuadro expone a modo de síntesis gráfica el aporte significativo y las contribuciones que la disciplinariedad cruzada o el traslado disciplinar, puede hacer al campo de la morfología arquitectónica, particularmente en lo que respecta a la definición de orden geométrico como insumo morfogenético para el desarrollo de trazados reguladores.

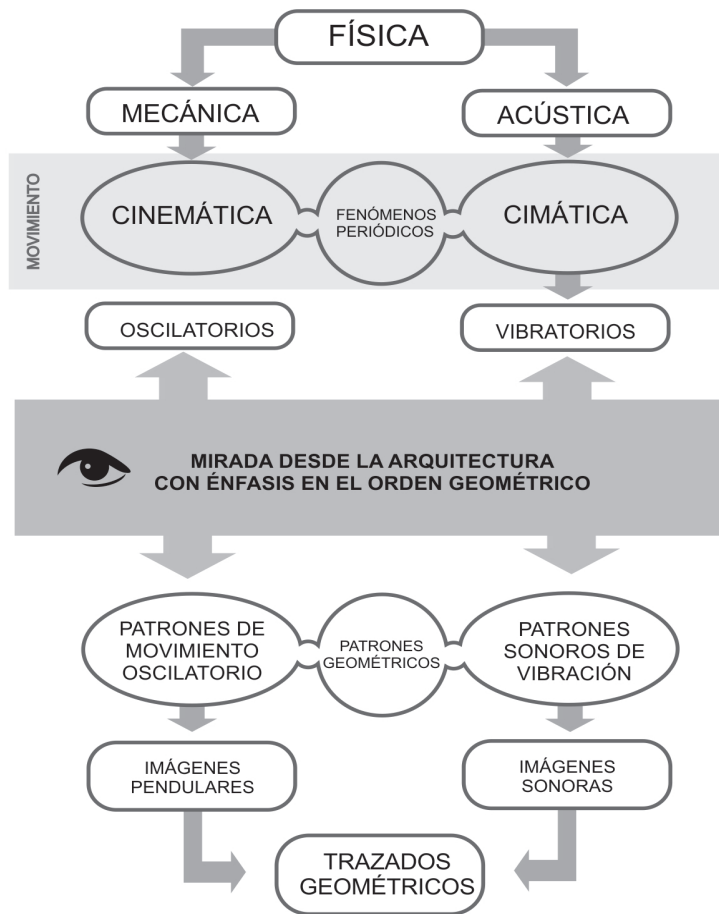


Figura 11. Cuadro síntesis de la experiencia de disciplinariedad cruzada. **Fuente:** elaboración propia.

Referencias bibliográficas

- Di Castri, F.y Hadley, M. (1986). Enhancing the credibility of ecology: Is interdisciplinary research for land use planning useful. *Geo Journal*, (13), 299-325.
- Lega Lladós, F. (2015). *Creación sonora sobre fluidos*. Research Art Creation.
- Jenny, H. (2001). *CYMATICS. A Study of Wave Phenomena and Vibration*. Macromedia.
- Nicolescu, B. (1996). *La Transdisciplinariedad. Manifiesto*. Edición 7 Saberes.
- Martineau, J. (2014). *Quadrivium: Las cuatro artes liberales clásicas*. — (2014). *Sciencia: Matemáticas, Física, Química, Biología y Astronomía*. — (2016). *Designa: Los secretos técnicos de las artes visuales tradicionales*. — (2016). *Geomancia: Dragones, feng shui, líneas ley, radiestesia y misterios de la tierra*. — (2016). *Trivium: Las artes liberales clásicas de gramática, lógica, retórica*. — (2019). *Megalitos: Estudios en piedra*. Librero.
- Moreno de Redrojo de la Peña, A. (1998). *Movimiento, mecánica y arte: momentos posibles para un arte cinético*. Universidad de La Laguna.
- Macagno, E. (1991). *Leonardian Fluid Mechanics I- History of Kinematics Ii - Inception of Modern Kinematics. Monograph No. 112*. Iowa Institute of Hydraulic Research the University.