

ARQUITECTURA MODULAR BASADA EN LA TEORÍA DE POLICUBOS

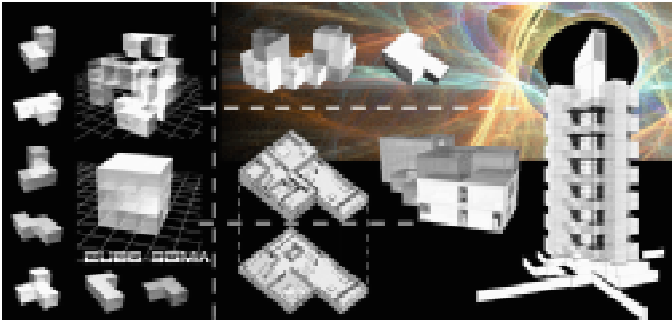
Arq. Roberto H. Serrentino

rserrentino@tucbbs.com.ar

Arq. Hernán Molina

hernanmolina@gmx.net

Laboratorio de Sistemas de Diseño
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Universidad Nacional de Tucumán
Av Roca 1800 - CP 4000 - Tucumán - Argentina
Tel: 054 - 0381- 436 4093 Interno 146
labsist@herrera.unt.edu.ar



Resumen

La Arquitectura modular se refiere al diseño de sistemas compuestos por elementos separados que pueden conectarse preservando relaciones proporcionales y dimensionales. La belleza de la arquitectura modular se basa en la posibilidad de reemplazar o agregar cualquier componente sin afectar al resto del sistema.

Un policubo es un conjunto de cubos unitarios unidos de manera tal que cada cara de cada cubo o se une completamente a otra cara de otro cubo, o permanece completamente libre sin ninguna conexión. Un policubo es una generalización tridimensional del concepto de poliomino, que consiste en un conjunto de módulos cuadrados unitarios unidos por sus lados.

El presente trabajo muestra cómo a partir del carácter volumétrico y modular de los policubos, es posible establecer correspondencias con formas tridimensionales de uso arquitectónico, constituyendo una poderosa herramienta en los procesos de diseño asistido, para:

- ser utilizados como disparadores creativos en la realización de diseños arquitectónicos
- ampliar las posibilidades de los sistemas CAAD explorando agrupamientos modulares complejos
- desarrollar un procedimiento simplificado de enseñanza-aprendizaje de la forma arquitectónica.

Abstract

Modular Architecture refers to the design of any system composed of separated components that can be connected together preserving proportional and dimensional relationships. The beauty of modular architecture is that it is possible to replace or add any component (a module) without affecting the rest of the system.

A polycube is a set of unit cubes joined in such a way that each face of the cube is either completely joined to another or completely free of any join. A polycube is a 3D generalization of polyominoes, which consist in a set of squared unit modules joined by their sides.

This paper shows how, from the volumetric and modular character of polycubes, it is possible to set correspondences with 3D forms of architectural use, being a very powerful sustain in assisted design processes. The main purposes are:

- to be used as creative triggers in the realization of architectural designs
- to enlarge the possibilities of CAAD systems exploring modular complex groupings
- to develop a simplified procedure of teaching-learning architectural forms.

Introducción

La teoría de policubos es una rama de las matemáticas que se ocupa de estudiar el comportamiento de unidades modulares cúbicas, tal que unidas por sus caras configuran formas en el espacio tridimensional. Si bien el módulo básico es un cubo, la combinación de varios cubos permite obtener una gran variedad de módulos que conservan ortogonalidad entre sus caras y, dentro de la sencillez de sus formas, aportan riqueza volumétrica y modularidad, estableciendo correspondencias con formas de uso arquitectónico.

Con el propósito de mencionar algunos antecedentes sobre el tema, diremos que las formas modulares compuestas por cuadrados y cubos se denominan respectivamente poliominos, inventados por Salomón Golomb, y policubos, cuyo antecedente más temprano es el Cubo Soma, inventado por Piet Hein. A fines de los años cincuenta Golomb [1] propuso el nombre poliominos (combinación de múltiples módulos cuadrados) a partir de la palabra dominó

(popular juego de piezas constituidas por dos módulos cuadrados), mientras que el Cubo Soma de Hein consistía en 27 módulos cúbicos combinados, tal que acomodados de una manera particular, forman un cubo de $3 \times 3 \times 3$ módulos. El Cubo Soma es un caso particular de policubo que en rigor no es un conjunto completo. Esto significa que, al estar compuesto por siete piezas: seis de los ocho tetracubos que existen y uno de los dos tricubos, no es una familia de formas que se ajuste a una definición matemática rigurosa, puesto que cuenta con elementos de diferentes familias. Abundante información sobre matemáticas recreativas puede ser consultada en Internet [2].

Uno de los desafíos en el área de las matemáticas recreacionales consiste en armar el Cubo Soma a partir de sus piezas sueltas, pero también es posible armar cientos de otras analogías con formas de la vida real. En este trabajo se muestra la posibilidad de



crear formas sintéticas que correspondan a situaciones arquitectónicas, en variadas escalas: equipamiento mobiliario, habitaciones, grupos de habitaciones, departamentos, grupos de departamentos, edificios, grupos de edificios hasta llegar a un sistema urbano.

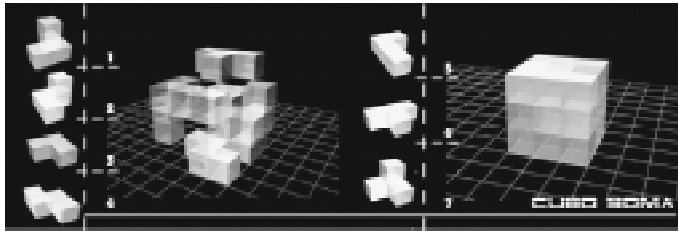


Fig 1 - Piezas del Cubo Soma.

Una de las manera más frecuentes de encarar el proceso proyectual, tanto en la enseñanza-aprendizaje como en la actividad profesional, consiste en establecer reducciones conceptuales que permiten operar con mayor claridad y rapidez. El trabajo modular tridimensional tiene en los cubos y policubos su expresión de mayor simplicidad fundamentalmente por dos razones:

(1) la direccionalidad de sus aristas corresponde al sistema de coordenadas de mayor difusión (cartesiano ortogonal), y (2) es el cuerpo sólido que más sencillamente rellena modularmente el espacio tridimensional, sin dejar huecos y sin superponerse.

Clasificación

Así como al considerar poliomínos bidimensionales es posible clasificarlos en dos grupos: "libres" y "contenidos", donde estos últimos hacen referencia a la existencia de un contenedor modular de forma rectangular cuyos lados limitan la expansión de módulos (matriz $p \times q$), al considerar policubos tridimensionales es válida la misma clasificación, siendo el contenedor un prisma modular (matriz $p \times q \times r$)

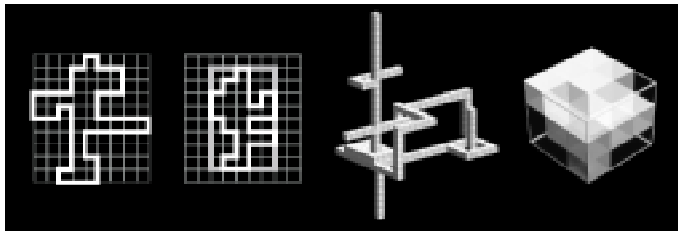


Fig 2 - (a) poliomínos "libres" y "contenidos"
(b) policubos "libres" y "contenidos"

Tanto los policubos "libres" como los policubos "contenidos" están sujetos a subdivisiones modulares cúbicas, cuya mínima expresión es un cubo unitario, y cuyas expresiones intermedias son grupos de cubos unitarios conectados, de manera tal que un conjunto de las piezas así formadas tengan la propiedad de macizar el contenedor (ejemplo Cubo Soma).

Las distintas maneras de clasificar policubos son, a saber:

(1) como k conjuntos de cubos conectados por sus caras, cada conjunto compuesto por n módulos cúbicos, $1 \leq n$.

Esta modalidad, por simple sumatoria de módulos unitarios cúbicos, corresponde a los llamados policubos "libres". Ejemplos:

(2) Como conjunto de unidades compuestas que rellenan un prisma modular (caso del Cubo Soma).

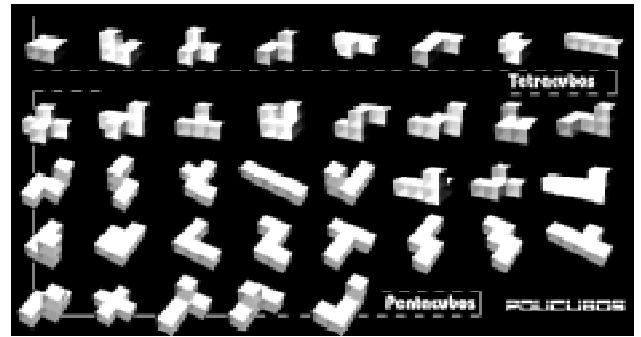


Fig 3 - Tabla de policubos: cubo, bicubo, tricubos, tetracubos, pentacubos, hexacubos, etc.

Sus habitáculos modulares macizan una matriz de $p \times q \times r = n$ cubos, con u unidades compuestas, siendo siempre $u < n$. Corresponde a los policubos "contenidos".

(3) Como conjunto combinado de unidades aisladas y unidades compuestas, que pueden rellenan un prisma modular dejando aparecer intersticios. Corresponde a un policubo "libre" en el sentido que admite huecos, aunque su expansión está limitada por el prisma modular, y en ese sentido se trata de un policubo "contenido".

(4) Como conjunto combinado de unidades aisladas y unidades compuestas, macizando la matriz de $(p \times q \times r)$ cubos. Corresponde a un policubo "contenido".

Objetivos

El primer objetivo de este trabajo consiste en analizar cómo pueden ser utilizados los policubos como disparadores creativos en la realización de diseños arquitectónicos. A partir de la clasificación en "libres" y "contenidos" y de sus posibilidades de generación mediante procedimientos aditivos o sustractivos, vemos la posibilidad de obtener formas modulares complejas, que alcanzan características escultóricas, pero sin embargo no pierden el orden ni la modularidad.

Con respecto al segundo objetivo que propone ampliar las posibilidades del diseño asistido por computadoras explorando agrupamientos modulares complejos, es suficiente con explorar algunas transformaciones geométricas que mencionaremos a continuación, para que se abra un universo de posibilidades creativas, conservando algunas propiedades esenciales de la configuración tomada como base. Dado un policubo de cierta complejidad siempre es posible reconocer en él tres elementos que lo configuran (Alonso y Cerf, 1996) [3]:

- (1) unidades cúbicas individuales (cubo unitario)
- (2) agrupamientos de unidades cúbicas colocadas en una línea (barra)
- (3) agrupamientos de unidades cúbicas colocadas en un plano (rebanada)

Teniendo en cuenta estos elementos constitutivos de un policubo, veamos algunas transformaciones:

(a) por proyección de unidades cúbicas individuales en X, Y o Z: dada una configuración aleatoria producida mediante un algoritmo de randomización de posiciones en el espacio, de unidades cúbicas aisladas, la proyección Z consiste en dejar "caer" sobre un plano fijo ortogonal al movimiento, todas las unidades cúbicas que tengan espacios vacíos debajo de ellas, como se muestra en la figura.



Las proyecciones X e Y se definen de manera similar. Como es fácil ver estas transformaciones no producen cambios cuantitativos al volumen, ni incrementan el área exterior. Es obvio que el máximo

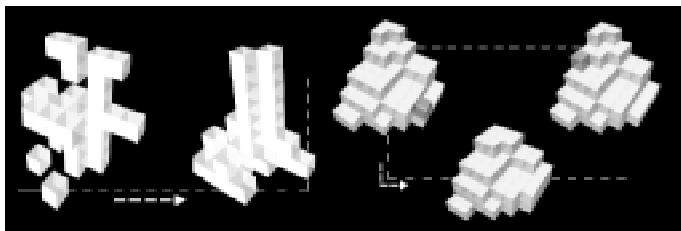


Fig 4 - Ejemplo de transformación por proyección (a la izquierda), y por movimiento de unidades cúbicas y reposicionamiento (a la derecha).

número de contactos horizontales se produce al aplicar movimiento en Z. Por otra parte, el número de contactos verticales entre dos columnas adyacentes, también es máximo después de aplicar movimiento en Z.

(b) por movimiento de unidades cúbicas: esta transformación mueve individualmente cubos del policubo, a partir de una configuración maciza y continua. Se trata de operaciones de traslación de unidades cúbicas condicionadas por cuáles son las localizaciones disponibles. A diferencia de la transformación (a), cada movimiento admite traslaciones en las tres direcciones X,Y,Z simultáneamente.

(c) por movimiento de barras: esta transformación mueve barras completas del policubo a partir de una configuración maciza y continua. Igual que en el caso (b), cada movimiento admite traslaciones en las direcciones X,Y,Z simultáneamente, a condición que la barra sea extraída del extremo de una "rebanada" del poliomino. Este movimiento no altera el volumen ni incrementa el área.

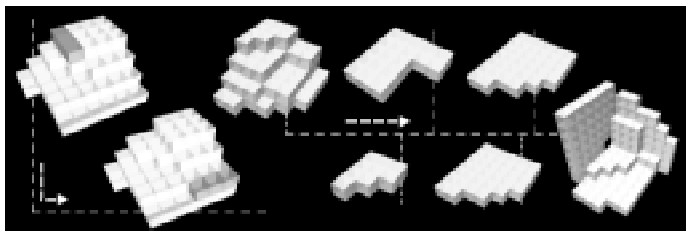


Fig 5 - Transformación por movimiento de barras y reposicionamiento (a la izquierda), y por recorte en rebanadas y reposicionamiento (a la derecha).

(d) remodelado por recorte en rebanadas planas: dada una configuración aleatoria maciza y continua como la de la figura, correspondiente a un poliomino "contenido" cuyos vacíos también son continuos (un solo conjunto de módulos vacíos continuos en ese contenedor), se corta en rebanadas en correspondencia con una dirección (son consideradas como poliominos bidimensionales, simplemente transformando las unidades cúbicas en cuadrados unitarios). Estas rebanadas se reacomodan en otra dirección conformando una nueva configuración.

El remodelado por recorte no produce cambios cuantitativos al volumen ni incrementa el área. El número de contactos horizontales entre dos rebanadas es máximo (igual al número de cubos de la rebanada más chica) si las dos rebanadas están asociadas a poliominos bidimensionales.

Con respecto al tercer objetivo, la propuesta es desarrollar un procedimiento de enseñanza-aprendizaje utilizando policubos aprovechando medios digitales, el mismo se lleva a cabo mediante la combinación de sistemas gráficos standard (principalmente AutoCAD y 3DStudio Max) y el entorno de trabajo en Internet (programas orientados al diseño de páginas Web y visualizadores del tipo VRML). Diversas universidades en el mundo están aplicando con éxito estas técnicas [4]. En nuestra propuesta, la secuencia de trabajo puede adoptar diferentes procedimientos: (a) inductivo-sintético (b) deductivo-analítico (c) combinación de los dos primeros. En cualquier caso se comienza con la creación de una unidad espacial cuyo nivel de abstracción y observación depende tanto de la escala requerida como del procedimiento elegido. Si se trabaja de manera inductiva, se comienza con una unidad espacial con suficiente detalle (por ejemplo un local habitación, o un módulo de equipamiento) para luego ir generalizando el análisis hasta abarcar todo el conjunto del proyecto, y sintetizar su planteo. Si se trabaja de manera deductiva, se comienza con el conjunto global (por ejemplo los grandes edificios o grupos de edificios adaptados modularmente a una trama ortogonal rectora), para luego ir particularizando el análisis, mediante una subdivisión modular, hasta alcanzar el grado de detalle. En realidad, lo más usual es trabajar combinando ambas modalidades.

Intención de diseño y ejemplos

Estos procedimientos también están relacionados con la intención del diseñador de establecer una reducción sistémica para enfrentar el proceso proyectual y arribar a la conformación geométrica del objeto proyectado. Tal proceso puede ser abordado de las siguientes maneras:

(a) desde la forma al propósito, cuando descripto el propósito o cometido del objeto se lo confronta con un inventario o catálogo de formas previamente generadas, buscando cuál de ellas se adecua al propósito a cumplimentar.

(b) desde el propósito a la forma, cuando se esbozan soluciones geométricas produciendo progresivas aproximaciones a la solución óptima concebida idealmente. Es un proceso de cotejo de diferentes descripciones de una misma definición, de un mismo modelo conceptual.

(c) desde la estructuración sistémica de la forma y del propósito, reconociendo que existen principios ordenadores que organizan la composición proyectada, verificando qué formas y espacios satisfacen el propósito requerido por las actividades.

Desde el punto de vista de la forma, es válida cualquier composición que resulte de adoptar un patrón y someterlo a alguna operatoria de simetría en el plano o en el espacio (incluyendo traslación, rotación, espejo, cambio de escala y todas sus combinaciones). Recordemos que por patrón entendemos la repetición de un "motivo de diseño", de manera regular, sujeto a ciertas restricciones que establecen las reglas para su generación. En el caso de los policubos es un arreglo u organización de cubos conectados por sus caras. Las piezas de un Cubo Soma constituyen patrones de repetición, que pueden ser usados libremente para componer formas y asignarles un propósito.

Desde el punto de vista del propósito, existen principios de organización de las partes que albergan actividades, que responden a condicionantes y requerimientos arquitectónicos, cuya sintaxis depende del propósito mismo. Si adoptamos como punto de partida un vocabulario básico e intemporal tanto de



organizaciones (central, lineal, radial, agrupada, en trama) como de principios ordenadores (ejes, simetría, jerarquía, ritmo, pauta, transformación) es posible asociar la oferta de formas con los requerimientos del propósito. Para ello es indispensable analizar las condicionantes funcionales y espaciales para adecuarlas al tipo de organización y sus características.

Vamos a dar un ejemplo metodológico utilizando las piezas del Cubo Soma, para proyectar edificios de vivienda. El procedimiento comienza fijando correspondencias funcionales entre una actividad y un módulo cúbico unitario, por ejemplo considerando que un cubo unitario corresponde a un dormitorio, cuyas dimensiones deben ser múltiplo del análisis deductivo y submúltiplo del análisis inductivo.

Como las piezas del Cubo Soma están formadas por varios cubos unitarios (tres o cuatro), a cada pieza le corresponde un agrupamiento de locales, es decir, un sector de la vivienda. Agrupar piezas del Cubo Soma corresponde a agrupar sectores de vivienda, y el agrupamiento de sectores corresponde a obtener un departamento o grupo de departamentos, por ejemplo de un edificio en altura.



Fig 6 - Desarrollo del ejemplo 1 edificio de viviendas en altura

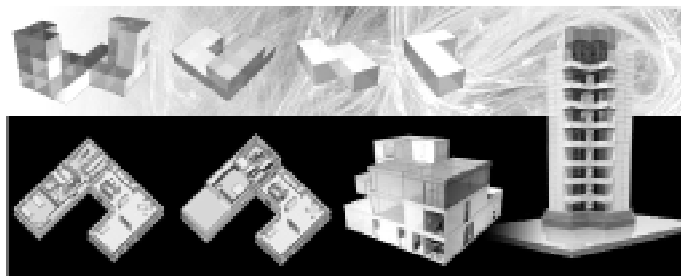


Fig 7 - Desarrollo del ejemplo 2 edificio de viviendas en altura

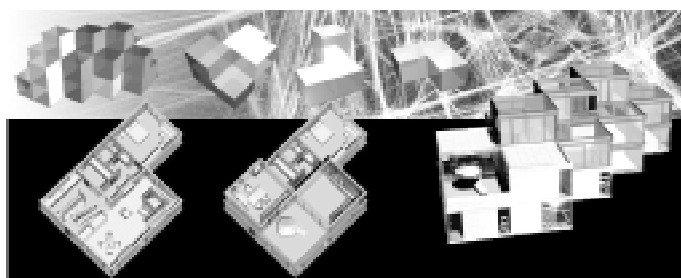


Fig 8 - Desarrollo del ejemplo edificio de viviendas en bloques

Las configuraciones espaciales así obtenidas deben ser sometidas a verificaciones funcionales (espacios apropiados para las actividades propuestas), ambientales (superficies adecuadamente expuestas al aire, luz y asoleamiento) y morfológicas (ordenamiento de los distintos componentes que aseguren su factibilidad estructural y constructiva).

Conclusiones

La aplicación de conceptos de modularidad sin pérdida de creatividad parece ser una constante en la intención de diseñadores actuales, alentados por la consecuente economía de tiempo y material en procesos constructivos. Aprovechando la sencillez geométrica y topológica de modelos simplificados, se facilita el desarrollo de criterios para el agrupamiento de unidades funcionales a diferentes escalas, permitiendo abordar el estudio de estructuras espaciales de aplicación específica. De manera recurrente el modelo simplificado se convierte en un sistema complejo al considerar variados grados de abstracción, llegando a producir modelos de gran riqueza y complejidad formal al combinar unidades prediseñadas.

Referencias

- [1] Golomb, Salomón (1958), "Polyominoes", London, George Allen & Unwin Ltd
- [2] Thorleif, G. (2001), "What is SOMA?", <http://www.fam-bundgaard.dk/SOMA/SOMA.htm>
- [3] Alonso L. y Cerf, R. (1996), "The three dimensional polyominoes of minimal area", Université Paris Sud, France.
- [4] Madrazo, L. y Duran, F. (2002), "Networking: multiple space representations in a web based learning environment", Universitat Ramon Llull, Barcelona, Spain.