

# Arquitectura modular basada en la Teoría de los Policubos

## Modular architecture based on the Theory of Polycubes

### Edmundo Daniel Quezada Feijoó

Departamento de Arquitectura y Artes, Universidad Técnica  
Particular de Loja, Ecuador.  
edquezada@utpl.edu.ec

### Xavier Eduardo Burneo Valdivieso

Departamento de Arquitectura y Artes, Universidad Técnica  
Particular de Loja, Ecuador.  
xeburneo@utpl.edu.ec

### ABSTRACT

This paper analyzes the theory of polycubes from the basic unit the cube, until the formation of more complex shapes, understanding the assembly and operation of polycube parts, is part of the use of theory in architectural projects, determining the cubic module (dimensions) and its combination aspect. Relates modulation with numerical series for the distribution and creation of environments. In the end establishes two design methodologies based on the theory, that it will work in a ludic way and culminate in housing prototypes.

**KEYWORDS:** Policubos; metodologías de diseño; lenguaje espacial; gramática de las formas

## I. Introducción

El presente trabajo, realizado como proyecto de fin de carrera para la obtención del título en Licenciatura de Arquitectura de la Universidad Técnica Particular de Loja, bajo la guía del Departamento de Arquitectura y Artes, en el periodo de febrero del 2011 a febrero del 2012; tiene como objetivo analizar la arquitectura modular basada en la Teoría de los Policubos como alternativa en la formación de espacios arquitectónicos, partiendo del estudio de arquetipos básicos como el cuadrado hasta su desarrollo tridimensional el cubo, y la agrupación de estos gracias a la gramática de las formas con la finalidad de conseguir formas tridimensionales. El estudio de policubos a partir de su carácter volumétrico y a través de un trabajo concreto y tridimensional, puede generar desde formas simples hasta formas complejas; por ello la importancia del estudio radica en que al ser parte de las matemáticas recreativas, mediante la manipulación de los policubos, brinda bases para el desarrollo de habilidades creativas, visuales y verbales, por las experiencias espaciales que se pueden encontrar en ellos. Para ello se analizaron antecedentes de la utilización de la teoría en proyectos arquitectónicos como el *Módulo de vivienda Nano* del Arq.

Gerardo Lara, que desarrolla una vivienda en un sólo módulo cubico; el prototipo de vivienda *Zero House* del Arq. Scott Specht cuya conformación se realiza mediante módulos que contienen ambientes específicos; y *Las Viviendas experimentales en Torrejón de Ardoz* del Arq. Rafael Leoz, quizás el máximo exponente de la teoría de los policubos en arquitectura, al organizar el espacio mediante una figura geométrica forma por cuatro cubos, en forma de la letra L y a modo de piezas de Tetrix; estos casos dan lugar a la comprensión de las miles de composiciones tridimensionales que se pueden lograr y donde se puede aplicar la teoría de los policubos al diseño arquitectónico.



Fig. 1. Casos análogos de aplicación de la teoría de los policubos en el diseño arquitectónico.

## II. Generalidades de la teoría de los policubos

### Matemáticas en la arquitectura

Tanto la arquitectura, el arte y las matemáticas poseen intereses comunes, cuya finalidad es la de aportar una obra original y bien conceptualizada para el espectador o usuario "Saber ver la arquitectura es, en cierto modo, descubrir en ella la perfección que le confiere su diseño geométrico y su ordenamiento matemático" [1]. Si bien es cierto, las matemáticas aportan a la arquitectura en muchos aspectos, la mayor parte de las veces son utilizadas de una manera distinta al proceso de diseño y por lo general cumplen aspectos de forma y análisis de la función, pero existen otras ramas de las matemáticas que ya aportan al análisis y el proceso de diseño en arquitectura, como el caso de la teoría de los grafos, teoría de los conjuntos, la geometría combinatoria, los teselados (donde se incluye la teoría de los poliminos). Los cimientos de la teoría de los policubos nace de la teoría de los poliminos, en general muchos de los aspectos de cómo trabajan los poliminos se vuelven a retomar en los policubos pero en una forma tridimensional, por ello en nuestro estudio, el partir del análisis de los poliminos (formas bidimensionales) nos facilitará la comprensión de la teoría de los policubos.

### Poliminos

Los poliminos son un conjunto de cuadrados iguales, que se encuentran unidos por sus lados de tal manera que cada dos de ellos, mantienen al menos un lado en común. Existe una gran infinidad de posibilidades de combinación que se pueden obtener al agrupar los polígonos cuadrados dentro de un polimino. Obteniendo así poliminos de acuerdo al número de cuadrados que se agrupen (monominos 1, dominós 2, triminos 3... etc), que pueden generar formas regulares o irregulares y pueden limitarse por la libertad de agrupación que se les brinde.

### Teoría de los policubos

"Un policubo es una generalización tridimensional del concepto de polimino, que consiste en un conjunto de módulos cuadrados unitarios unidos por sus lados. 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" [2]. Al igual que los poliminos, Las posibilidades de agrupación de los policubos es infinita, cuan mayor sea el número de cubos, mayor será las distintas formas que podamos obtener (regulares, irregulares, libres y contenidas). Por ello para este trabajo se limita la utilización de los policubos de acuerdo a las formas que se pueden obtener de la combinación; es decir por la libertad de agrupación que se les proporcione; resultante de esto se analizó la construcción de cubos con policubos (policubos contenidos), tomando como referencia

el caso particular del cubo de 3x3x3, por el numero adecuado de piezas policubicas que contiene cada una de sus disecciones y por qué es conocido por su utilización en el mundialmente famoso *Cubo de Rubik*. Al ya tener elegido el cubo de 3x3x3, se analizaron las más importantes y conocidas disecciones que existen y que son consideradas como rompecabezas geométricos; así tenemos: El cubo soma, el cubo de O'berine, el cubo Diabólico, el cubo de Nob, el cubo de Steinhaus, el cubo de Conway, el cubo de Coffí, el cubo de Lola, el cubo 7 y el cubo Mikusinski [3].

### CUBO 3 x 3 x 3 SOLUCIONES

El presente cuadro resume las piezas policubicas que pueden existir en las 10 soluciones analizadas del cubo de 3x3x3; han sido organizadas desde las que poseen piezas policubicas regulares en cuanto a forma y sencillez, hasta las que presentan un grado de agrupación más complejo; el diseñador podrá utilizar cualquiera de estas soluciones para el trabajo con las metodologías analizadas en la presente investigación.

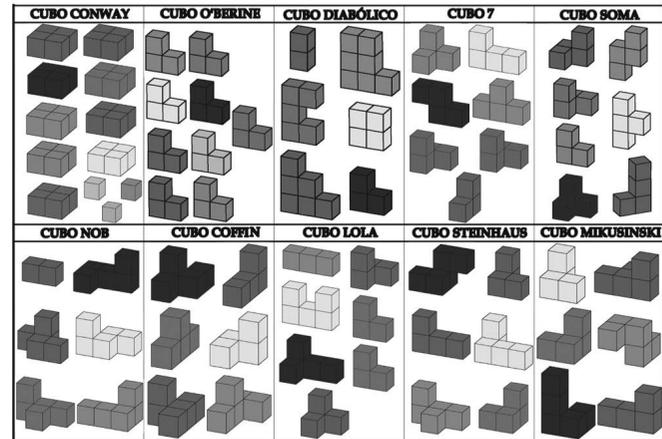


Fig. 2. Disecciones del cubo de 3x3x3 utilizadas en este trabajo.

### Modulación

Al trabajar con la teoría de los policubos cuyo elemento es el cubo desde ya estamos definiendo un módulo de composición, y es que estas formas poseen un carácter modular interesante al configurar espacios tridimensional macizos, que se acoplan perfectamente por sus lados, sin dejar espacios entre ellos y que al sustituir alguno de estos módulos, todo el conjunto sigue conservando la misma organización. Para utilizar este tipo de modulación espacial, necesitaríamos definir las medidas con las cuales trabajar; partiendo del estudio de modulación en base a series numéricas y no geométricas (al ya tener el cubo como elemento modular geométrico) y su acoplamiento sobre redes planas y espaciales; determinando así, en relación a las medidas que proporciona la *serie de Lambda* (posee una característica factorial muy útil que sirve para la conformación de medidas modulares combinables entre sí), el módulo de diseño arquitectónico de 30Mb -módulo base Mb= 10cm "La ISO (Organización Internacional de Normalización) adoptó internacionalmente el Módulo M de 100 milímetros, acuerdo que todos los países han respetado"- [4], con el cual ya podemos trabajar en la organización de ambientes arquitectónicos, determinando varias soluciones de ambientes básicos sobre este módulo.

### III. Determinación y aplicación de metodologías

Como parte fundamental del trabajo y en el cual se plasma toda la investigación; se determinaron dos metodologías de diseño basadas en la teoría de los polícubos, que nos sirvan como herramienta para el diseño arquitectónico; que al final culminarán en prototipos de vivienda que permitan demostrar el objetivo inicial. Gracias a la infinidad de soluciones que podemos obtener al agrupar las piezas policúbicas, en estas metodologías se trabajará de una manera lúdica, de manera que el diseñador pueda explorar con las soluciones que más le convengan, fomentando así, a que sus capacidades reflexivas, predictivas, creativas e innovadoras puedan surgir libremente. Las metodologías se detallan a continuación:

#### Metodología 1

En esta metodología cada cubo conformante de una pieza policúbica, albergará un ambiente arquitectónico (ya definidos anteriormente al encontrar el módulo de diseño arquitectónico de 30 Mb por lado). El diseñador tendrá la libertad de selección de las piezas policúbicas (de los tipos de disecciones del cubo de 3x3x3) a utilizar para el diseño, para ello deberá definir primero el programa de necesidades y relacionar cada ambiente arquitectónico como si fuera un módulo cúbico, obteniendo así exactamente el número de módulos cúbicos requeridos y por ende escoger las piezas policúbicas que cumplan con esas condicionantes. Para poder combinar dichas piezas policúbicas se deberá tener en consideración cuantos ambientes irán en cada planta arquitectónica para que la forma resultante de dicha combinación este conformada bajo ese parámetro; se puede utilizar colores para definir las zonas conformantes del proyecto y que pueden

ser codificadas después de obtener la configuración deseada considerando en que ninguna de las piezas puede ser modificada. Posteriormente se puede realizar una representación plana de la combinación sobre una retícula modular mixta, que servirá de referente para poder reemplazar cada módulo cúbico por un ambiente arquitectónico y obtener así el prototipo de planta arquitectónica final.

- Restricciones:

Tanto las restricciones formales como las compositivas dependerán de las piezas utilizadas, de la combinación y la libertad de agrupación que se les brinde. En cuanto a lo funcional se deberá diseñar cada ambiente arquitectónico en un mismo módulo cúbico ya definido en sus dimensiones previamente.

- Ventajas:

La elección de piezas depende del diseñador basándose en las necesidades del proyecto. Se trabajará en la combinación de las piezas policúbicas solamente, al ya tener definido el módulo base de diseño predefinido antes de empezar con el desarrollo de la metodología. Al utilizar la retícula modular mixta que sirve de elemento contenedor de los módulos de diseño arquitectónico se facilitará el diseño de la parte estructural del proyecto.

- Desventajas:

La aplicación de esta metodología en terrenos reales dependerá de la configuración que el diseñador plantee, pudiendo utilizar todo o parte del terreno, no siempre encontraremos terrenos que se adapten a la formas cúbicas, por ende se debe pensar en organizaciones que culminen en implantaciones aisladas, o adosadas a un solo lado.

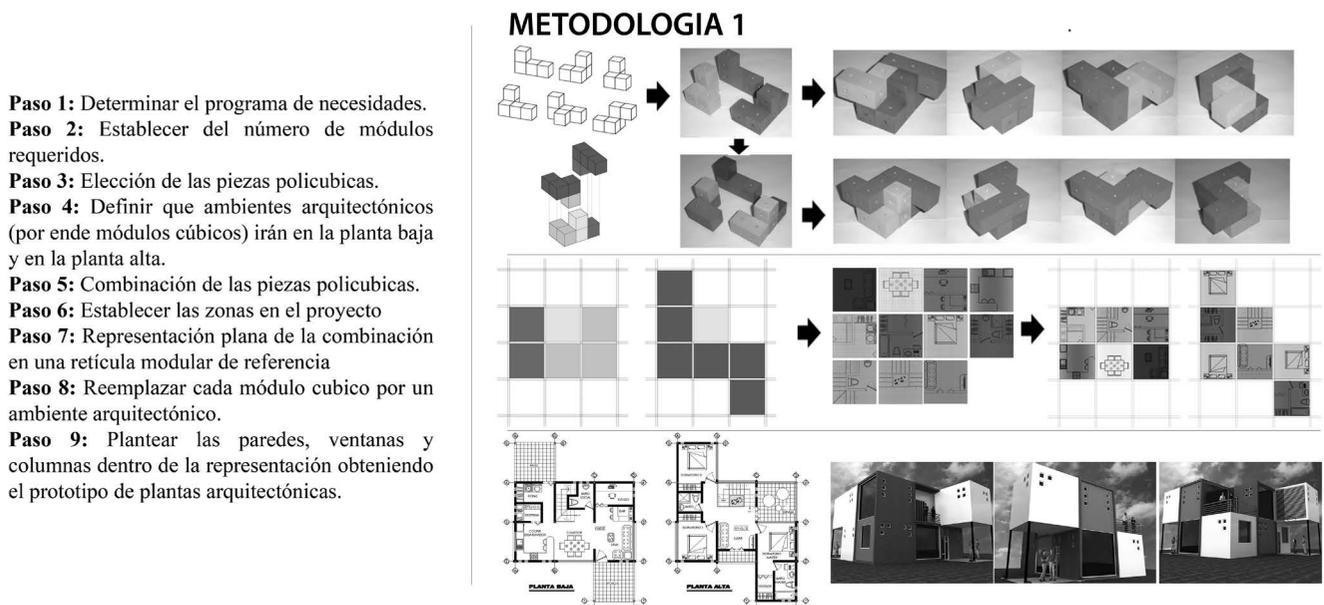


Fig.3. Procedimiento de trabajo de la metodología 1.

## Metodología 2

En esta metodología ya no se contará con un módulo de diseño predefinido, sino que se deberá trabajar con un terreno y a partir de las condicionantes de este, se puede obtener las dimensiones del módulo (se puede deducir aplicando una retícula cuadrática en el terreno). A diferencia de la anterior metodología nos brinda una mayor libertad tanto en la utilización de piezas policubicas porque ya no se seleccionará las que se acoplen al programa de necesidades planteado, sino que necesariamente se deberá utilizar todas las piezas conformantes de una solución del cubo de 3x3x3; y también esa libertad antes mencionada se reflejará en la distribución de los ambientes arquitectónicos al ya no contener ambientes sobre módulos cúbicos y más bien el diseñador tendrá la facilidad de distribuir a su conveniencia sobre las configuraciones obtenidas de las piezas, teniendo presente la retícula modular cuadrada de 10 cm de módulo base para la distribución y organización de los espacios y el mobiliario. Para la combinación de las piezas policubicas se deberá prestar atención cuantos ambientes irán en cada planta arquitectónica para que la forma resultante de dicha combinación este conformada bajo ese parámetro; al igual que la anterior metodología la utilización de colores y la representación plana en la retícula modular también se aplica obteniendo al final el prototipo de planta arquitectónica.(Fig.4)

### - Restricciones:

Las restricciones formales y compositivas están definidas por las pizas utilizadas, la combinación de estas y la libertad de agrupación que se les ofrezca, considerando que se debe utilizar todas las piezas

conformante de una solución del cubo de 3x3x3. La hablar de la restricción funcional ya obtenida la forma tridimensional habrá la apertura de manejar el espacio arquitectónico a conveniencia al no tener definidos los ambientes en módulos cúbicos.

### - Ventajas:

Habrà una mayor creatividad en cuanto a la organización de las piezas policubicas dado que se utilizarán todas las conformantes de una solución del cubo de 3x3x3. Así mismo existe una mayor libertad y flexibilidad de diseño de los ambientes arquitectónicos dentro de la forma tridimensional resultante de la combinación, debido a que se podrá tomar uno, varios de estos módulos para el diseño de los espacios.

### - Desventajas:

Si queremos definir un módulo de diseño con mayores dimensiones se puede dividir el terreno modularmente en menos partes, o considerar que el tipo de implantación que el terreno brinda se lo puede modificar. Para las dimensiones del módulo de diseño, al no estar definidas por una serie numérica, pueden ser seleccionadas por el diseñador, teniendo como límite de acuerdo a la experiencia de este trabajo, dimensiones que van desde 250 cm hasta 300cm; menores a estas, en altura no nos permitirían alcanzar las dimensiones mínimas para una losa de piso. La utilización de todas las piezas policubicas que contienen en total 27 módulos cúbicos, se pueden generar espacios amplios para los ambientes y para no tener un exceso en las áreas de estos se puede pensar en adicionar nuevos espacios fuera del programa de necesidades inicial.

## METODOLOGIA 2

**Paso 1:** Establecer el terreno a trabajar y analizar sus condicionantes.

**Paso 2:** Definir el módulo de diseño arquitectónico.

**Paso 3:** Determinar el programa de necesidades.

**Paso 4:** Elección de una de las soluciones del cubo de 3x3x3 (se trabajará con todas las piezas policubicas conformantes de la solución).

**Paso 5:** Definir que ambientes arquitectónicos (por ende módulos cúbicos) irán en la planta baja y en la planta alta.

**Paso 6:** Combinación de las piezas policubicas.

**Paso 7:** Establecer las zonas en el proyecto.

**Paso 8:** Representación plana de la combinación en una retícula modular de referencia.

**Paso 9:** Diseño de los ambientes arquitectónicos, planteamiento de paredes, ventanas y columnas dentro de la representación teniendo como referencia la retícula cuadrada de 10cm, de base para ello; consiguiendo el prototipo de plantas arquitectónicas

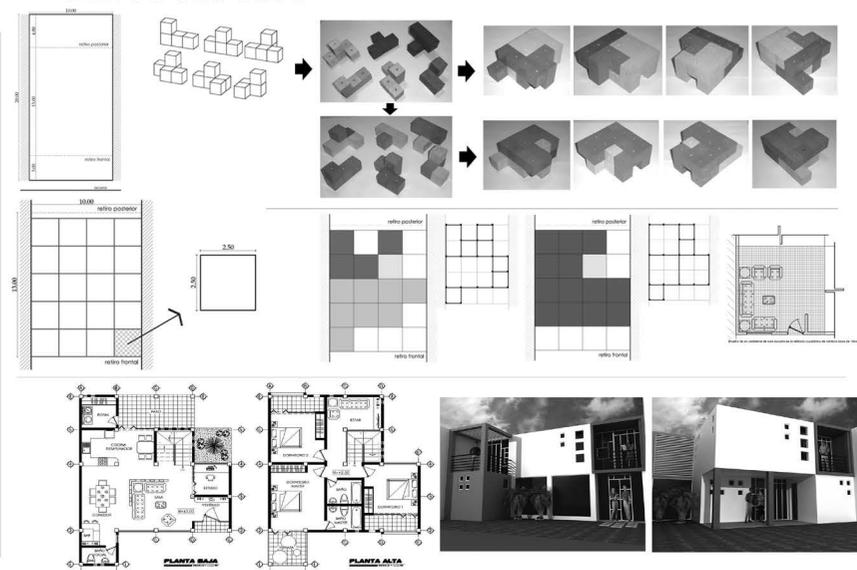


Fig.4. Procedimiento de trabajo de la metodología 2.

## IV. Conclusiones

El trabajar con la teoría de los policubos aporta una inmensa riqueza volumétrica y modular en las configuraciones obtenidas, las posibilidades de generación de los policubos, mediante procesos de adición, sustracción, movimientos, simetrías y rotaciones, puede culminar en formas modulares simples y complejas, de sencillas hasta escultóricas, y que sin embargo no pierden el carácter modular y ortogonal. Pero al vincular la teoría con la modularidad existe un obstáculo, por ejemplo la modulación que maneja la regla aurea y el Modulor de Le Corbusier no son compatibles para trabajar en conjunto, debido a que no cumplen con los requerimientos de dimensiones en los tres ejes de coordenadas, es decir, se puede conseguir un cuadrado en planta, pero al desarrollarlo en altura no se forma un cubo; para el trabajo con la teoría de los policubos se debe analizar en primer lugar otros tipos de modulación que cumplan con este requisito, que pueden ser teniendo como base una serie numérica (como en el caso de esta investigación) o por medio de análisis y deducción de acuerdo a las condicionantes presentadas a lo largo del proceso de diseño arquitectónico (terreno, estudio de áreas, etc.). Con respecto a las metodologías desarrolladas en la primera se limita la acción del diseñador a la combinación de las piezas policúbicas, al ya tener definidos varios ambientes arquitectónicos en un módulo cúbico; la creatividad se medirá en la forma resultante de la combinación de las piezas. En la segunda metodología propuesta se fomenta en el diseñador la creatividad en la configuración de las piezas policúbicas además de que deberá diseñar los ambientes arquitectónicos en base a confort, funcionabilidad y flexibilidad, dejando la libertad para demostrar sus actitudes en el diseño arquitectónico, al ya no tenerlos establecidos desde un principio.

## V. Recomendaciones

El presente trabajo puede ser tomado como un texto divulgativo y de referencia, teniendo presente que la arquitectura debe ser manejada como un juego de ajedrez, en el que el diseñador aprende y elige los movimientos que ha de hacer, asumiendo siempre que hay soluciones mejores que las otras y en analizarlas y ponerlas en marcha esta su desafío. En cuanto a la teoría de los policubos, puede ser analizada en un principio desde la creación de formas simples o complejas que después puedan corresponder a situaciones arquitectónicas en varias escalas, desde un simple equipamiento mobiliario, hasta la conformación de habitaciones, departamentos, viviendas, conjuntos habitacionales, edificios hasta llegar a un sistema urbano. El aspecto lúdico del trabajo con la teoría de los policubos como etapa inicial es una gran fuente para el desarrollo del aspecto creativo del diseñador, sin embargo se debe

ampliar las posibilidades de combinación de las piezas policúbicas asistido por computadoras, con la finalidad de explorar tanto agrupamientos simples con dos o tres piezas (donde obtendremos miles de soluciones) como con agrupamientos complejos; dando paso a un universo de posibilidades creativas.

## VI. Referencias

- [1] Vallejo, L. 2011. Las matemáticas en la arquitectura clásica: aplicación didáctica. *Revista digital Ciencia y didáctica*. 51, 83. Recuperado en julio del 2011, de [http://www.enfoqueseducativos.es/ciencia/ciencia\\_51.pdf](http://www.enfoqueseducativos.es/ciencia/ciencia_51.pdf)
- [2] Serrentino R. y Molina H. 2008. *Arquitectura Modular basada en la Teoría de Policubos*. Recuperado en octubre del 2010, de <http://cumincades.scix.net/data/works/att/8a44.content.pdf>
- [3] Rupérez, J. y García M. 2009. Las disecciones del cubo. *Números*. 72, 129-139. Recuperado en marzo del 2011, de [http://www.sinewton.org/numeros/numeros/72/Volumen\\_72.pdf](http://www.sinewton.org/numeros/numeros/72/Volumen_72.pdf)
- [4] Saavedra, G. 2007. *Dimensionamiento constructivo y humano*. Recuperado en enero del 2012, de [arquinet.usach.cl/arquitectura\\_y\\_recursos/laboratorio4/tecnologia/coordinacion\\_modular.pdf](http://arquinet.usach.cl/arquitectura_y_recursos/laboratorio4/tecnologia/coordinacion_modular.pdf)