

Artículo original

Christopher alexander y las matemáticas en lo urbano

Christopher Alexander and the Mathematical Modeling of Urban Patterns

Israel Leandro Flores ^{1, a}

¹ Universidad Politécnica de Catalunya, España

^a ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8343-7694>

israel.leandro@estudiantat.upc.edu

Información

Recibido: 5 de octubre del 2025.

Aceptado: 21 de diciembre del 2025.

Palabras clave:

graphos, matemáticas, urbanismo.

Resumen

En la historia del urbanismo, este siempre ha estado aparte de las matemáticas. La geografía, la economía e incluso las ciencias sociales que, siendo anteriores en su formalidad teórica, no son anteriores en su realidad práctica. Lewis Mumford criticaba el sentido de las ciudades como máquinas complejas (Mumford, 1967). Para él, es el determinismo que dañaba el modelamiento de las ciudades. En ese sentido, el primer tratado de urbanismo científico se escribe en 1867 por Ildefonso Cerdà siendo producto del primer proyecto completo de ensanche en España (Choay, 1980). No es sino hasta 1960 que Christopher Alexander, un matemático y arquitecto educado en Cambridge y Harvard, plantea que es posible matematizar el hecho urbano entendiendo dos cosas: las interacciones y los patrones. En dos trabajos, una carretera en Pittsburgh y una aldea en la India, Alexander plantea esta posibilidad por primera vez en el urbanismo.

Information

Keywords:

Graphos, mathematics, urban planning.

Abstract

In the history of urban planning, mathematics has always been set apart. Geography, economics, and even social sciences, which predate it in their theoretical formality, do not predate it in their practical reality. Lewis Mumford criticized the notion of cities as complex machines (Mumford, 1967). For him, it was determinism the one that damaged the modeling of cities. In that sense, the first treaty on scientific urban planning was written in 1867 by Ildefonso Cerdà as a result of the first complete urban expansion project in Spain (Choay, 1980). It was not until 1960 that Christopher Alexander, a mathematician and architect who studied at Cambridge and Harvard, proposed that it was possible to mathematize the urban reality by understanding two things: interactions and patterns. In two projects, a highway in Pittsburgh and a village in India, Alexander raised this possibility for the first time in urban planning.

INTRODUCCIÓN

A mediados del siglo XVIII, en plenos cambios producto de la migración del campo a la ciudad, las ciudades europeas volvían a tener los grandes problemas de la Roma Imperial: hacinamiento, contaminación, etc. Los problemas de la ciudad ahora eran problemas de vida o muerte. Las nacientes ciencias económicas ya daban ciertas luces de cómo las ciudades no eran más que las concentraciones de bienes y servicios. Pero la forma urbana no respondía con la suficiente velocidad que los cambios sociales y económicos. Los primeros intentos de modelamiento urbano-productivo fueron de Johann Heinrich von Thünen en 1826. Este proponía que los mercados tienen una incidencia directa en las morfologías de la ciudad (Thünen, 1826). Toda vez que las aproximaciones de locación se complementaron con la invención de la geolocalización con John Snow y Edmund Cooper que en 1855 produjeron los primeros mapas de correlación geográfica y fenomenológica en occidente (Snow, 1855).

Es en este tiempo que Ildefonso Cerdà plantea el Ensanche de Barcelona, ya viendo la necesidad de entender la ciudad como hecho sistemático, plantea a lo largo de 10 años un intento de Teoría del Todo, lo que en 1867 se transformaría en su Teoría General de la Urbanización (Cerdà, 1867). Como parteaguas, este texto intenta compilar el empirismo de Cerdà, la revisión sistemática de ciudades alrededor del mundo y la disciplina de recopilación de datos accesibles en ese momento en la ciudad. Es Cerdà que plantea el uso del álgebra para el cálculo de las medidas de la manzana. Tal vez el primer

uso de la topología como descriptor urbano. Es luego de Cerdà que, viene la experiencia noreuropea de tratadismo urbano generalmente elaborada por economistas. Esto explica que, por poco más de 100 años, el alcance de las matemáticas en el urbanismo entendido para los urbanistas tuvo una exclusión de las ciencias: no estaban preparados. La mayor experticia y experiencia eran exclusivas de la geografía, economía, física y biología. Esto puede notarse hasta Christopher Alexander que, como matemático y arquitecto entra en la brega de introducir las objetividades o por lo menos un sentido que se asemeje a ello. Alexander, desde 1960 hasta su muerte en 2022 estuvo incansablemente tratando de buscar un sentido a las cosas, primero desde la objetividad y luego, sus últimos trabajos buscaron llevar la matemática desde el subjetivo.

El estudio de su trabajo en otros campos fuera de las matemáticas y las ciencias computacionales es escaso sino hasta ya entrado el s. XXI y ahora, en el caso del urbanismo se perdió desde finales del s. XX por razones varias. Una de estas es que para poder demostrar las cosas que Alexander extrapolaba no existían las herramientas computacionales ni los algoritmos optimizados. Las nuevas ciencias de la interacción o los algoritmos contemporáneos de computación de patrones sumados a sensores cada vez más ubicuos permiten volver a tomar a este Alexander temprano y por qué no, tratar de terminar su trabajo aun póstumamente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Son tres elementos teóricos para revisar. Primero, se tiene en el trabajo inicial de Alexander lo determinista y lo estocástico. En esta ambivalencia es donde está la riqueza de su exploración inicial. Segundo, la elaboración de sets correlacionales. Estos son instrumentos que Alexander planteó como ordenadores de las intenciones en un diseño específico para la reubicación de una aldea de 600 personas en Bhurava, región de Gujarat en la India. El tercer elemento para considerar son los *graphos*. Estos fueron instrumentalizados por Alexander como sintetizadores gráficos de la fenomenología urbana. Taxativamente, esta investigación es de carácter mixto, debido a que toma los elementos cualitativos que presenta Alexander, así como los cuantitativos que trata de traducir; explicativa, porque sobre la base del caso de Bhurava se extiende lo expuesto por él; inductiva porque de esos casos expuestos se llega a una conclusión general respecto a la pertinencia de estos análisis y síntesis en la actualidad y de análisis documental debido a que se basa en los documentos mostrados por él.

Como orden del trabajo, se iniciará con una breve descripción del texto doctoral de Alexander, entendiendo la importancia de sus partes para llegar al problema de Bhurava. Luego se desarrollará el problema de Bhurava y se dará su contexto matemático parte por parte definiendo la pertinencia de los conceptos matemáticos que haya usado y finalmente se expondrán los alcances actuales de Alexander en el desarrollo de las ciencias actuales.

RESULTADOS

El texto base para el trabajo de Bhurava fue parte de la tesis doctoral de Christopher Alexander en Harvard en 1962. Notes on the synthesis of form se publica en 1964 donde se hallan las siguientes partes:

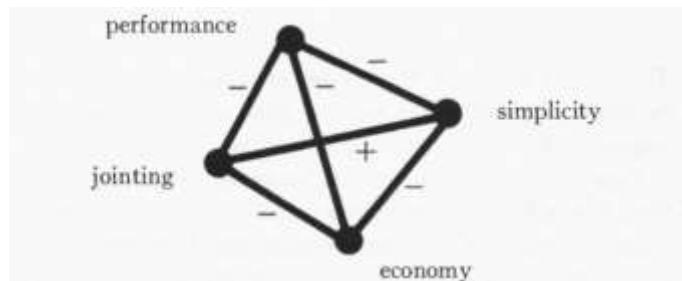
Primera sección. Introduction: The need for rationality.

En este apartado Alexander establece las líneas básicas de su posición: la estructuración de racionalidad en el diseño está casi siempre apartada del quehacer diario de los diseñadores. De manera crítica señala que, los problemas que enfrentan son cada vez más complejos para tomarlos sin ningún tipo de orden. Pero este orden necesita ser revisado desde el punto de vista lógico y sobre todo interaccional.

Alexander plantea que hay cuatro grandes nodos conceptuales en el caso aplicado de un diseño industrial: la performance, el ensamblado, la economía y la simplicidad. Estos son directamente proporcionales o inversamente proporcionales según se quiera estudiarlos. El referente de esta estructura está basado parcialmente en los trabajos de T.W. Cook, en la resolución de problemas estructurados (Cook, 1937).

Figura 1

Grapho tetrapartito. Sobre como las condiciones de diseño interactúan entre sí.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

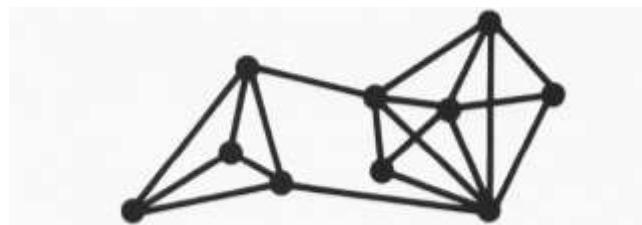
El argumento de Alexander radica en que los diseñadores no están capacitados para tomar todas las condiciones de diseño para llegar a lo que refiere él como el fin último del diseño: la forma. Esta forma, entendida en su sentido platónico es doble vía: la forma como estructuración física, material y la Forma como estructuración metafísica, inmaterial. Considera que esta dialéctica puede ser solamente asida mediante el uso de estructuras lógicas matemáticas sin que esto haga perder al diseñador control creativo.

Segunda sección: Parte uno. 2. Goodness of Fit; 3. The Source of Good Fit; 4. The Unselfconscious Process; 5. The Selfconscious Process.

En estas cuatro subsecciones Alexander argumenta que el fin del diseño es la forma entendida en su sentido dialéctico. Para llegar a esa forma es clave entender que la forma no es un ente aislado de su contexto. Así, sobre la base de estudios biológicos y económicos de inicios del siglo XX, Alexander plantea que la forma en la humanidad siempre ha estado ligada al entendimiento de las condiciones de esta en su medio.

Figura 2

Grapho forma. De cómo la forma física se entiende de las variaciones de las posibilidades de asentarse.



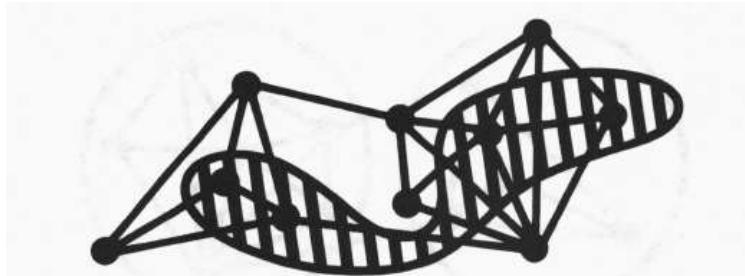
Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Así también plantea que hay jerarquías en la manera en que la forma se asienta, entendida como sistemas y subsistemas. Estos dependen exclusivamente de la sensibilidad que tenga quien diseña con entender la realidad. Y aquí radica lo clave para Alexander: que es quien diseña el encargado de definir objetivamente el andamiaje conceptual para sostener la definición de su forma entendiendo la realidad de manera sistemática. Si quien diseña obvia tanto la razón objetiva del ente a diseñar o soslaya la realidad para satisfacer su prejuicio, la forma será arbitraria.

Luego, Alexander plantea que hay dos maneras de entender las decisiones de diseño, esto desde dos puntos de vista fenomenológicos: de las sociedades conscientes de sí mismas (SC) y las inconscientes de sí mismas (SI). Las SC basan sus decisiones de diseño sobre el ejercicio crítico de afinar las cosas a nivel abstracto, es decir, no dependen tanto de quien los construye. Aparecen las especializaciones: los que construyen no necesariamente son los que lo diseñan. Las SI son aquellas que dependen de la tradición, normalmente son los que construyen formas que se pasan de generación en generación. Las formas son resultado de un ensayo y error que viene desde sus antepasados.

Figura 3

Grapho deformado. De cómo se puede entender la arbitrariedad respecto a la estructura de la forma.



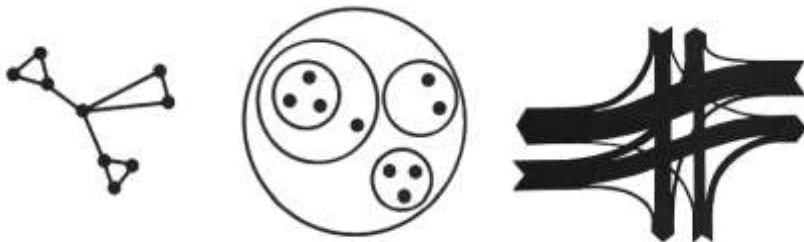
Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Tercera sección: Parte dos: 6. The Program; 7. The Realization of the Program; 8. Definitions. 9. Solution. Epilogue.

Esta parte determina las condiciones de lógica-mecánica que debe de tener una mirada estructurada del diseño, entendido como la producción de formas. La cuestión de si es posible tener un proceso objetivo y estructurado de diseño, a la luz de Alexander, se centra en la capacidad de sistematizar las cuestiones conceptuales de manera cualitativa primero y luego de manera cuantitativa. Él entiende que el proceso de generación de formas se define con el listado de condiciones y el agrupamiento de estas de manera crítica. Luego, cómo estas condiciones pueden converger en nodos conceptuales que sean claramente *algoritmizables*. Por último, cómo estas condensaciones se transforman en operaciones ya sean iterativas, de bucle o finales dependiendo del objetivo de la forma.

Figura 4

Graphos compuestos. De cómo las representaciones gráficas explican parcialmente las intenciones proyectuales.



Editado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Hay que recordar que el discurso aquí expuesto no había sido hasta 1964 posible de mostrar debido a la ausencia de apoyos informáticos. De hecho, Alexander participa en un equipo multidisciplinario y en consorcio con varias universidades en los primeros intentos académicos y proyectuales de poder usar las máquinas para describir diferentes fenomenologías. Ira S. Lowry, 1964 publica A Model of Metropolis, que, en consonancia con Alexander, busca de la misma manera sistematizar, juntamente con las máquinas el hecho de la ciudad y el territorio. Es así como el texto de Alexander llega al hecho ejemplar de la reubicación de una aldea de 600 personas en Bhurava, región de Gujarat en la India. El argumento de Alexander va por mostrar el poder de los diagramas para generalizar las reglas específicas. Haciendo tabula rasa, Alexander plantea establecer las conexiones entre los entes sean urbanos o territoriales.

Primero, establece las reglas. Este lenguaje es el relacional. El universo es una aldea de 600 personas que hay que mover por mandato del gobierno de Gujarat, India. Ya habiendo tenido experiencia de campo en esas zonas tras su PhD (Alexander, 2004) establece las necesidades de la población. Segundo, establece cuáles son las relaciones absolutas entre esos requerimientos. Cada requerimiento se codifica

y se establece su compatibilización con las necesidades. Tercero, plantea usar un lenguaje que pueda ser sistematizado y, sobre todo, universalizable. Cuarto, establece las relaciones lógicas y gráficas sobre la base del modelamiento de las reglas puestas por la población y traducidas por Alexander. Quinto, establece el modelo final.

Las definiciones se hacen en tres clases de necesidades: (1) la que las personas mismas identifican como suyas; (2) la que las autoridades municipales y gubernamentales reconocen como válidas; y (3) la que las personas no reconocen como satisfechas, pero lo están implícitamente. Alexander identificaba cada persona y grupo de personas como entes de motivaciones comunes. Por más discutible que suene, para el caso de la *modelística*, las diferencias no eran tan graves como para divisar muchos más subgrupos. Y Alexander sabía esto, de manera que en vez de determinar los subgrupos dividió los reclamos de estos. Alexander divide estos en 13 argumentos: religión y castas, fuerzas sociales, agricultura, ganadería, empleo, agua, bienestar social, transporte, suelos, educación, salud, implementación y gobernabilidad.

Figura 5

Esquemas de necesidades. Listado parcial de lo recogido por Alexander.

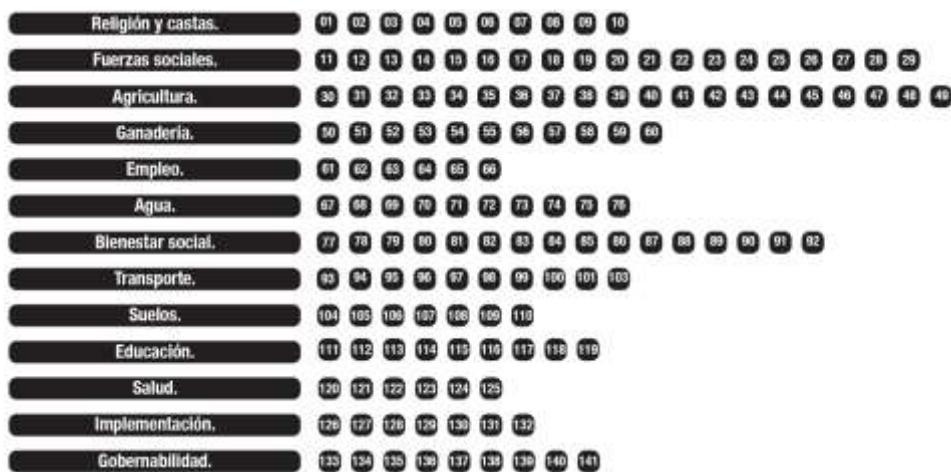


Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

La lista refiere entonces a las reglas de interacción que hay entre los 13 grupos de argumentos. Estas relaciones y correlaciones son las que determinan la geometría final del modelo.

Figura 6

Esquemas de necesidades numeradas y sistematizadas.



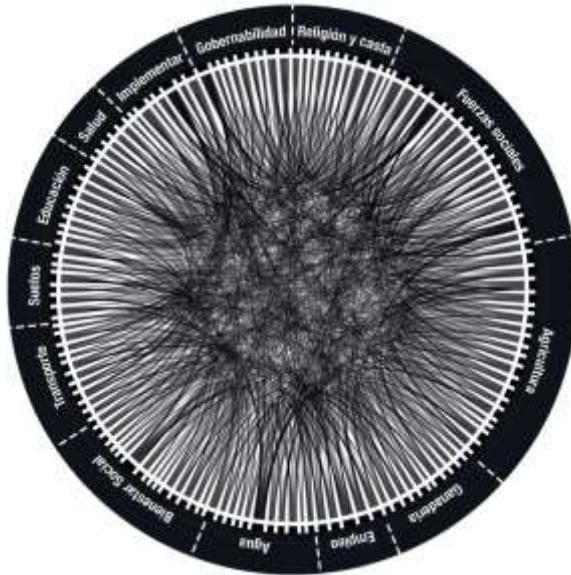
Tomado de La mano que mece la máquina, 2024.

La clasificación que hace Alexander es sobre su experiencia con Manheim en 1962, (Alexander & Manheim, The Design of Highway Interchanges: An Example of a General Method for Analyzing

Engineering Design Problems, 1961) recordando que era un trabajo casi en paralelo. Lo bueno de este sistema es que pone de manifiesto de manera obvia y específica la factibilidad de la generalización, así como la importancia de la identificación de las necesidades en los modelos.

Figura 7

Condiciones interconectadas



Tomado de La mano que mece la máquina, 2024.

En la figura 6 se puede notar que hay dos temas transversales para la población modélica: las fuerzas sociales y la agricultura. Por otro lado, las cuestiones de empleo y salud son las menos transversales. Esto no quiere decir que sean temas secundarios, sino que los requerimientos muestran a nivel consciente lo que a nivel inconsciente se puede estar diciendo. A diferencia de la figura 6 donde se ve una dimensión, la figura 7 nos permite ver más dimensiones. Por ejemplo, el tema Agua que tiene pocos nodos, pero uno de estos tiene 36 interacciones. El nodo 71:

71. Full collection of monsoon water for use.

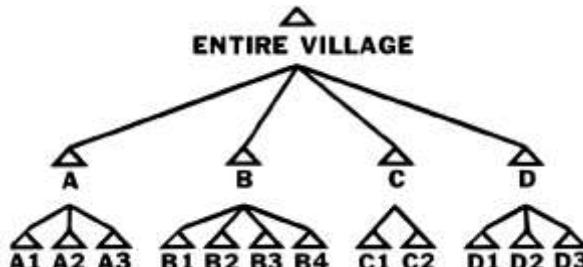
La importancia de entender el sistema de monzones para la colección de agua. Este es un ejemplo de un argumento general que no es transversal, pero uno específico que es muy importante. El nodo 86:

86. No overcrowding.

Este argumento, perteneciente a Bienestar Social, tiene 40 interacciones.

Figura 8

Jerarquización de los grupos gráficos de las necesidades.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

El siguiente paso es la jerarquización de los argumentos encontrados con las casi 3,000 interacciones establecidas por Alexander. En ese sentido, y en todas las escalas posibles, se establece el diagrama de la figura 8 que plantea cuatro *sets*, cada *set* con diferente cantidad de *subsets*. Para entender el modelo final, metódicamente, requerimos de estudiar lo que se interpretó de cada *subset* primero, set segundo y por último el modelo completo.

Figura 9

Del texto explicando las divisiones de los sets.

The four main diagrams are roughly these: A deals with cattle, bullock carts, and fuel; B deals with agricultural production, irrigation, and distribution; C deals with the communal life of the village, both social and industrial; D deals with the private life of the villagers, their shelter, and small-scale activities. Of the four, B is the largest, being of the order of a mile across, while A, C, D, are all more compact, and fit together in an area of the order of 200 yards across.

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Así, A determina la ganadería, fuerza animal y energía; B producción agrícola, irrigación y distribución; C la vida comunal tanto social como industrial y D la vida privada de los habitantes, tanto doméstica como colectiva.

Figura 10

Del texto explicando las divisiones de los sets.

of the villagers, their shelter, and small-scale activities. Of the four, B is the largest, being of the order of a mile across, while A, C, D, are all more compact, and fit together in an area of the order of 200 yards across.

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

En una tradición de la geografía pura, Alexander plantea no solo las clasificaciones sino también el impacto medido. Plantea que B es el argumento de mayor impacto distal, ya que puede alcanzar hasta una milla o 1.61 kilómetros. Tanto así, A, C, D, pueden entrar en una distancia de 200 yardas o 183 metros. Esto determina un cambio en el proceder del modelamiento aplicado al diseño: ahora hay dimensiones. Ahora los *graphos* tienen medida. Veamos ahora la morfosintaxis pura de Alexander.

Figura 11

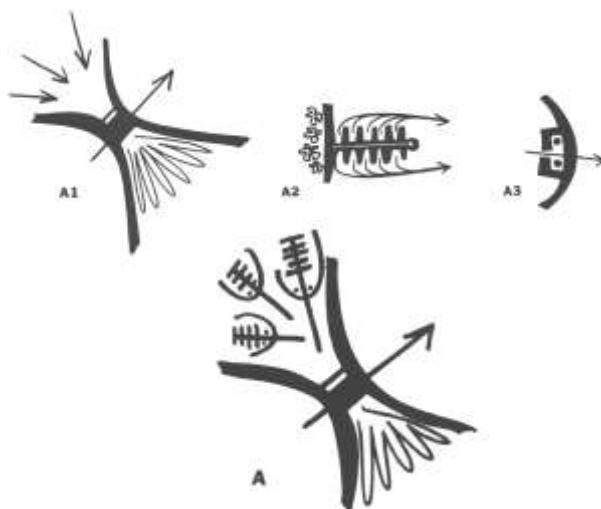
Del texto explicando las divisiones de los sets. Set A y D.

The structure of A starts with A2, a group of cattle stalls, each stall opening toward the outside only, its floor falling toward the center, with a drain in the center leading all manure to a pit where the slurry for the gober gas plant can be prepared. Each compound has such a component A2 in its center, between the pieces of D1; exit from the compound, for cattle and carts, is by way of component A3, a gate in the compound wall, marked by the cattle trough and the gober gas plant itself. A group of several

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Figura 12

Los graphos del set A.

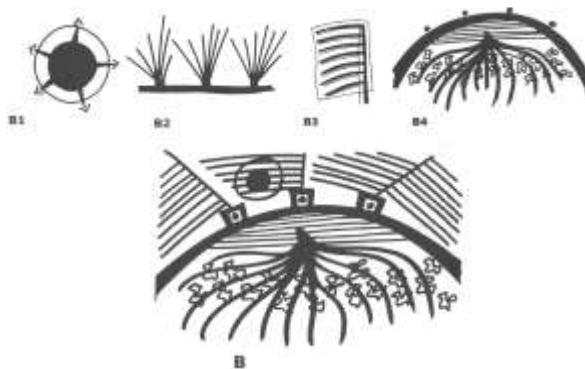


Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Complementando lo que describe Alexander en el mismo texto, A resulta de la búsqueda de la mejor manera de manejar el ganado, y el diagrama busca centralizar los procesos del ganado manteniendo la libertad de recorrido de este. La limpieza de su bosta es clave, para satisfacer los requerimientos de enlace. La composición es relativamente compleja: A3 y A2 convergen siendo A2 la colocación del ganado orientado de manera que A3 sea el receptor y control. Además, Alexander planteaba, ya desde los '60s, el uso sostenible de los gases orgánicos del ganado.

Figura 13

Los graphos del set B.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964

Figura 14

Del texto explicando las divisiones de los sets. Set B.

The basic organization of B is given by the diagram B4, a water collector unit, consisting of a high bund, built in the highest corner of the village, at right angles to the slope of the terrain; within the curve of this bund, water gullies run together in a tank. This tank serves the rest of the village land, which lies lower, by means of sluices in the bund; the component B4 is intimately connected with B3, the distribution system for the fields. The principal element of this diagram is a road elevated from floods, which naturally

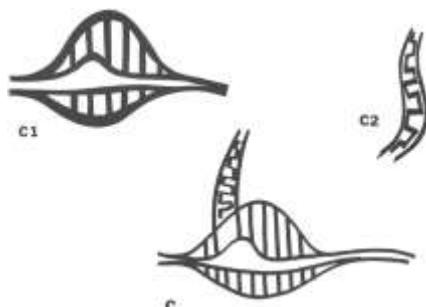
takes its place along the top of the bund defined by B4. At intervals along this road, distribution centers are placed providing storage for fertilizer, implements, and seeds; in view of the connection with B4, each one of these centers may be associated with a sluice, and with a well dug below the bund, so that it may also serve as a distribution center for irrigation water. Each distribution center serves one unit of type B2; this is a unit of cooperative farming, broken into contoured terraces, by anti-erosion bunds, and minor irrigation channels running along these bunds. B1 is a demonstration farm, surrounding the group of components ACD, just at those points of access which the farmers pass daily on their way to B2 and B3.

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Alexander plantea que el set más importante es el B. Este sirve para determinar la agricultura, como lo muestra el gráfico 109, siendo el más complejo. Son 4 subsets. El más importante siendo el B4 que determina el curso del agua. Las combinaciones de B1, B2 y B3 se dan siempre en la parte baja, para aprovechar esa gravedad del agua. La idea de diseñar en arco el B4, es para ser más efectivos en el reparto de los cultivos, de manera que haya más longitud de arco en menos distancia para el trabajo agrícola. Además, da pie a que las conexiones con los otros argumentos, A, C y D sean más factibles. B1 es un aporte al emprendedorismo, ya que representa una granja modelo, es decir, no necesariamente productiva, pero sí modélica que sintetiza sintetizando las actividades del gran sistema productivo: necesariamente tiene que pasarse al momento de transcurrir por la granja. Un punto focal útil.

Figura 15

Los graphos del set C.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Figura 16

Del texto explicando las divisiones de los sets. Set C.

C is made of two diagrams; C2 is a series of communal buildings (school, temple, panchayat office, village meeting place, etc.), each with a court, the courts opening in alternatingly opposite directions. The cross walls are all pierced by gates, in such a way that there is a continuous path down the middle. This path serves as a connecting link between different centers, a processional

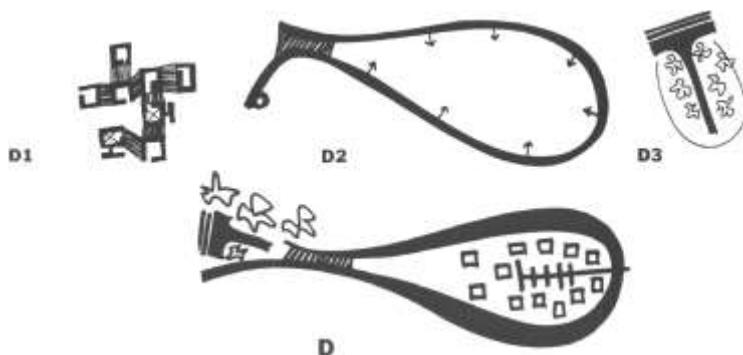
route, and pedestrian access to the compounds D which may therefore be hung from C2 like a cluster of grapes. One end of this component C2 runs into C1; C1 is a widening of the road on the bund; on this widening out, a number of parallel walls are built to mark out narrow, city-like plots. There is in the center of these plots a bus stop, opening out of the road itself. The whole unit houses whatever industry, power sources, and other aspects of the village's future economic base, develop.

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

En C, esta aparentemente simple construcción implica la división sociológica del día. C2 representa los elementos comunes de edilicia especial. Alexander plantea que, según los requerimientos de la población, sea según un camino que remate en la C1 que es el tejido regular, o de la edilicia de base, en este caso, las viviendas productivas. Siempre condicionando las distribuciones para que todos puedan tener una conexión. En el eje X, que es el de tejido urbano, se hace una concavidad que retendría la estación de buses, que es parte de la demanda. Si se nota, la geometría del *grapho* es mucho más práctica respecto al fin.

Figura 17

Los graphos del set D.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Figura 18

Del texto explicando las divisiones de los sets. Set D.

The smaller group of diagrams ACD is given its primary organization by the fact that several units of type D must function together. Each D copes with the small-scale activities of about fifty people. It is defined by D2, a compound wall carrying drinking water and gas along its top. At the entrance to the compound, where the walls come together, is a roofed area under which cottage industries take place. The compound contains the component D1, an assembly of storage huts, connected by roofed verandas which provide living space. Every third or fourth hut has a water tank on top, fed by the compound wall, and itself feeding simple bathing and washing-up spaces behind walls. D3 is a component attached to the entrance of the compound; it provides a line of open water at which women may wash clothes, trees with a sitting platform at their base for evening gossip, in such a way that the water and trees together form a climatic unit influencing the microclimate of the compound, and also, because of the water and trees, offering a suitable location for the household shrine.

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

El set D es el eminentemente habitable. D1 es el conjunto de depósitos. D3 es la entrada donde las mujeres, que son las que manejan el devenir del conjunto, controlan el acceso además de potenciar las relaciones interfamiliares. También está el control del agua para cada familia. D2 es el borde de base que define la extensión de cada conjunto, que Alexander plantea que no sea mayor a 50 personas. Esto hace que sean 12 o 14 grandes sets que definen el clúster.

Figura 19

Del texto explicando las uniones de los sets.

the cattle trough and the gober gas plant itself. A group of several components A2 and A3 are tied together by the single A1. A1 consists of a central control point through which all cattle leaving any compound have to pass. This control point provides a hoof bath, a dairy, and a link to the main road via C1.

During the actual realization of the program, that stage came last in which the four diagrams A, B, C, D, were combined to give the diagram labeled "Entire Village."

Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

Alexander no plantea su "Entire Village" como algo definitivo, sino como algo modélico. Entiende que las condiciones definidas están limitadas por su capacidad de recolectar, hace 61 años, toda la información de esa pequeña aldea. Teniendo en cuenta que la India se ha convertido en el país más poblado del mundo y contiene ya 7 megaciudades, el hecho de que esto se pueda extraer a algo tan complejo como son ciudades de millones de personas parecía imposible en 1964. Pero ahora, en plena asunción de las posibilidades computacionales, se vuelve a abrir el panorama para esto.

Figura 20

El grapho final. La aldea completa.



Tomado de Notes on the synthesis of form, 1964.

DISCUSIÓN

Es importante entender el texto y por tanto la propuesta desde los tres puntos iniciales: el determinismo o la estocástica como posicionamiento modélico; los sets y subsets como descriptores cuantitativos y los *graphos* como sintetizadores gráficos.

Primero, Alexander plantea este ejercicio sobre la base de condiciones reales, como un ejercicio de modelística y, por tanto, tiene que tomar una posición entre un modelo determinista o un modelo estocástico. En ese sentido, todo el trabajo de Gujarat parte a la fuerza por un modelo determinista, debido a las limitaciones de los argumentos mesurables y a los posibles outputs. En ese sentido, todos los *sets* y *subsets* parten de ese punto: no se puede considerar algo que no se puede medir y por tanto el resultado será directamente ligado a las combinatorias de estos. Es muy interesante de preguntarse qué hubiera pasado si Alexander hubiera podido tener las herramientas para poder establecer modelos estocásticos para estos tipos de problemas.

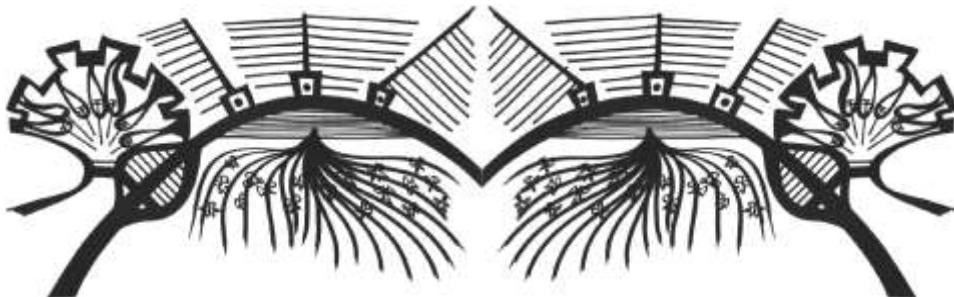
Segundo, los sets correlacionales son tan útiles como capacidad se tenga de procesar las interacciones. Una aldea de unos cientos de personas no es lo mismo que una ciudad de millones. Sin embargo, y

gracias a estudios posteriores como los de Michael Batty (1976) o Geoffrey West (2011) que ya avizoraban, desde la geografía y la física, las posibilidades del escalamiento de los fenómenos urbanos. En las ciencias de interacción actuales, se recogen los trabajos de George K. Zipf (1949), Walter Isard (1956) y el ya mencionado Ira. S. Lowry (1964) entre otros siendo coetáneos de Alexander para llegar a establecer un patrón, desde el punto de vista científico-matemático que pueda llegar a describir la realidad, en este caso, urbano-territorial.

Tercero, los *graphos* como sintetizadores gráficos. El avance por parte de Alexander es que logró llevar el lenguaje matemático rígido a un lenguaje más flexible representacional. Si bien los *graphos* existen desde el primer tercio del s. XVIII con Euler, estos habían sido usados para la resolución de problemas sencillos en las ciencias. Alexander es el primero que, con relativo éxito, los llega a usar para proponer un modelo complejo. Este puente es el gran aporte de Alexander en el caso del diseño urbano y territorial. El esfuerzo de abstracción necesario para darle sentido a los nodos y a los conectores por parte de Alexander sobre la base del proceso de discriminación de los *sets* y *subsets* y sobre la base del posicionamiento modelístico relatan la vanguardia de estos y la pertinencia en la modelística actual. Aquí, la Figura 21 como exploración de las variantes de una base *alexanderiana*.

Figura 21

El *grapho multiplicado*.



Elaboración propia sobre la base de Notes on the synthesis of form, 1964.

Conclusiones

Las implicancias en los avances de la automatización en la actualidad, sobre todo en la sensibilidad de toma de datos y las prospectivas tan inciertas pero céleres que trae esta automatización a escala darían mucho que hablar no solo en términos de proyección urbana sino en el sentido de la pedagogía misma de esta (Leandro-Flores, 2024). Como se comentó en la parte inicial, las ciencias urbanas tuvieron un accidentado inicio con Ildefonso Cerdà, pero ahora, que es posible visitar cualquier parte del mundo sin ir e incluso tomar datos remotos sin necesidad de tener un sensor en el sitio abre las preguntas al estilo de Alexander.

La ley universal de movilidad (Schläpfer, et al., 2021) propone que, en diversas partes del mundo, se sigue un patrón universal de movimiento dentro de las esferas sociales de los humanos. Esto, que en textos posteriores de Alexander era muy discutido y cuestionado, es demostrado más de medio siglo después de su discusión.

Las ciencias de las interacciones (Bahr & Stary, 2016) proponen que los entes que participan en un sistema están interconectados a distintas escalas y con distintas intensidades aún no sean patentes sus acciones. Alexander también propone esta figura desde sus trabajos iniciales pre-doctorales.

Es entonces clave entender a la luz de los puentes construidos por Alexander hace más de 60 años que en los albores de este siglo las ciudades pueden volver a revisar lo que son con la ayuda de la matemática, de los modelos y de las objetividades.

REFERENCIAS

- Alexander, C. (1964 (1971)). *Notes on the synthesis of form*. Harvard University Press.
- Alexander, C., & Manheim, M. L. (1961). *The Design of Highway Interchanges: An Example of a General Method for Analyzing Engineering Design Problems*. Massachusetts: Committee on Geometric Highway Design and presented at the 43rd Annual Meeting.
- Alexander, C., Ishikawa, S., & Silverstein, M. (1977). *A Pattern Language. Towns. Building. Construction*. Oxford University Press.
- Bahr, G. S., & Stary, C. (2016). What is interaction science? Revisiting the aims and scope of JoIS. *Journal of Interaction Science* 4:2, DOI 10.1186/s40166-016-0015-5.
- Batty, M. (1976). *Urban Modelling*. Cambridge University Press.
- Cerdà, I. (1867). *Teoría General de la Urbanización*. Madrid: Imprenta Española Torija.
- Choay, F. (1980). *La Règle et le Modèle, Sur la théorie de l'Architecture et l'Urbanisme*. Éditions du Seuil .
- Cook, T. (1937). The relation between amount of material and difficulty of problem solving: I. Mental addition and subtraction. *Journal of Experimental Psychology* 20(2), 178–183.
- Isard, W. (1956). *Location and Space-Economy. A General Theory Relating to Industrial Location, Market Areas, Land Use, Trade, and Urban Structure*. The Technology Press of Massachusetts Institute of Technology and John Wiley & Sons and Chapman & Hall, Ltd.
- Leandro-Flores, I. (2024, 02 14). La mano que mece la máquina. O de cómo perder la inocencia en el siglo XXI automatizando el urbanismo. Barcelona, España.
- Lowry, I. S. (1964). *A Model of Metropolis*. The Rand Corporation.
- Mumford, L. (1967). *El mito de la máquina. Técnica y evolución humana*. Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company.
- Schläpfer, M., Dong, L., O’Keeffe, K., Santi, P., Szell, M., Salat, H., . . . Ratti, C. W. (2021). The universal visitation law of human mobility. *Nature*, 522-527.
- Snow, J. (1855). *On the mode of transmission of cholera*. John Churchill.
- Thünen, J. H. (1826). *Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirthschaft und Nationalökonomie*. Friedrich Verthes.
- West, G. (2011, Julio). The surprising math of cities and corporations. Edimburgo, Escocia.
- Zipf, G. K. (1949). *Human Behavior and The Principle of Least Effort. An Introduction of Human Ecology*. Addison-Wesley Press, Inc.