

Estructuras irregulares

Estructuras sin reglas y su aplicación en arquitectura

1994. Publicado en *International Journal of Space Structures* Vol. 11 Núm. 1&2, 1996

1. Un preámbulo personal

Mi interés profesional y mi curiosidad personal siempre se han sentido atraídos por aquellos casos en los que intervenía el carácter impredecible de cualquier desarrollo futuro, y más concretamente por cómo un objeto diseñado por un arquitecto acaba siendo utilizado por gente sin la menor relación con su autor.

Mi fascinación por este tipo de improvisación que no permite deducir los estados futuros de un sistema a partir de sus estados previos nace de vivencias y de observaciones de mi infancia. A lo largo de mi vida, me he topado una y otra vez con situaciones similares a ésta, no sólo en el mundo de la arquitectura sino también en el de la física, la sociología o la estética. Este peculiar sentido de incertidumbre del proyecto me llevó a plantear lo que bauticé como "arquitectura móvil",¹ un método de planificación y de diseño abierto a los cambios que el usuario desee operar sobre el sistema y que le permite replantear el proyecto de acuerdo con sus preferencias personales (unas preferencias a las que nunca hasta el momento había podido dar expresión). Con el propósito de desarrollar un concepto de arquitectura móvil que fuera factible, a menudo he hecho alusión a los armazones o estructuras espaciales.² Esta atención intuitiva a toda incertidumbre inherente al proyecto me llevó a fijarme en la presencia recurrente de patrones irregulares. La arquitectura móvil evolucionó hacia las organizaciones irregulares resultantes de la improvisación y de decisiones posiblemente irracionales de los habitantes del objeto que había que diseñar. El carácter "desregulado" de estas organizaciones me empujó a buscar unas reglas hasta la fecha desconocidas, antes de ponerme tras la pista de la "indeterminación" en un sentido más amplio.

Así fue como descubrí que la indeterminación es un fenómeno común, presente prácticamente en todos los campos de la ciencia; la descubrí incluso en las matemáticas.³ Este escrito no se ocupa de los aspectos de la indeterminación que estudié entonces, que se pueden encontrar en mi obra *L'universe erratique*.⁴

Aquí me limitaré a hacer una declaración introductoria, a dar una definición sucinta y general de la indeterminación, al tiempo que explicaré qué entiendo por "irregular" y "aleatorio".

2. Sobre patrones irregulares, aleatorios y erráticos

Me gustaría proponer las definiciones siguientes para ciertas organizaciones diversas pero relacionadas entre sí: "irregular", "aleatorio" y "errático".

Podemos considerar que una organización es "irregular" cuando ninguna regla general define todos los elementos que la constituyen. Una organización es "aleatoria" cuando carece de una regla de composición explícita, si bien los elementos que la conforman proceden de un conjunto definido y limitado. En una organización o un "sistema" "errático", no sólo es evidente que su composición no obedece a ninguna regla, sino que sus componentes proceden de un conjunto infinito en el que no se observa ninguna regla de composición.⁵ Cada uno de los elementos que forman un sistema errático es un "individuo", un elemento insustituible que manifiesta un casi "libre albedrío", sin un "comportamiento" previsible. Tanto un sistema irregular como un sistema aleatorio se pueden describir como sistemas "mecánicos", sistemas que se pueden representar con la ayuda de una máquina. En un sistema errático, esta descripción es inadecuada. Por supuesto, un sistema errático se puede describir en términos estadísticos (¿qué no lo es?), pero los métodos estadísticos de descripción no dan cuenta del rasgo más importante de un sistema errático: su indeterminación.

Los sistemas erráticos o las organizaciones erráticas son impredecibles. Es imposible adivinar cuál será el siguiente estadio de estos sistemas en cualquiera de sus fases. Según esta definición, podemos inferir que todos los sistemas a los que nos enfrentamos en el mundo real son erráticos en sus detalles y deterministas sólo a través de la aproximación estadística. Esto significa que las actitudes "posibilistas" y "deterministas" son diferentes a la luz de una realidad que no es, por su parte, ni determinista, ni probabilista. Este estado de cosas figura en mi declaración "Orden y desorden son caras diferentes de la misma moneda".⁶

Los objetos arquitectónicos son erráticos si nos fijamos en detalles como sus usuarios; en cambio, son regulares si los pasamos por alto. Esa misma distinción es habitual en el trabajo de un ingeniero, capaz de decir en qué zona cederá una estructura sometida a un exceso de carga pero incapaz (ni se le exige lo contrario) de prever la forma que adoptará la superficie agrietada.

3. Sobre el orden y el desorden

En el pasado, los científicos, los geómetras y los matemáticos se interesaban por las regularidades, por las manifestaciones de "leyes" y de un orden subyacentes.

Esa actitud, característica sobre todo de la manera de pensar de los ingenieros, está siendo sustituida por un interés cada vez mayor por el "desorden", aunque éste lleve consigo una coetilla silenciosa que reza que el desorden es una suerte de "orden disfrazado", y que es imposible siquiera imaginar el desorden puro. La termodinámica, la teoría del caos, los procesos autónomos... Todos ellos consideran el desorden como algo que esconde un cierto orden "oculto".

Otra postura, tan antigua históricamente como la creencia en la existencia de un orden oculto, es la creencia en un "desorden oculto", es decir que detrás de todas las cosas hay un "desorden camuflado". Y podemos dar con este desorden camuflado en todos los procesos de ordenamiento. Por ejemplo, en aritmética, un proceso de ordenamiento fundamental inventado por la mente humana, hay multitud de restos de un desorden inextricable, como por ejemplo la indeterminación del lugar que ocupan los números primos en el conjunto de números enteros positivos.

4. Estructuras aleatorias en arquitectura

Este texto presenta algunas propuestas de estructuras basadas en diferentes grados de desorden, estructuras que se pueden aplicar en el terreno de la arquitectura y en las que una cierta morfología del desorden actúa como la chispa de una arquitectura posible que se desmarca de las principales tendencias actuales.

4.1. Estructuras de hojas arrugadas

El ejemplo más sencillo de estas estructuras es el que he bautizado como "hojas arrugadas". Arrugar una hoja es deformarla sin atender a regla alguna, por el efecto de diferentes fuerzas descoordinadas. El acto de "arrugar" es el resultado del impacto desordenado sobre un objeto de varias fuerzas no coordinadas entre sí. Las hojas arrugadas son el producto de una acción deliberadamente desordenada sobre una hoja. En mis experimentos, he aplicado esta técnica a rejillas de alambre y mallas metálicas (figura 1).

En mi opinión, estas estructuras de hojas arrugadas no son menos sólidas que las que están formadas por hojas dobladas siguiendo patrones regulares. Mediante un análisis de Fourier, es fácil representar las hojas arrugadas como la suma o patrón de interferencia de diferentes superficies bidimensionales regularmente onduladas de carácter sinusoidal. Sin embargo, no es fácil determinar el grado de deformación provocado por la presión. Esta dificultad de cálculo explica que los ingenieros suelen ignorarlas.

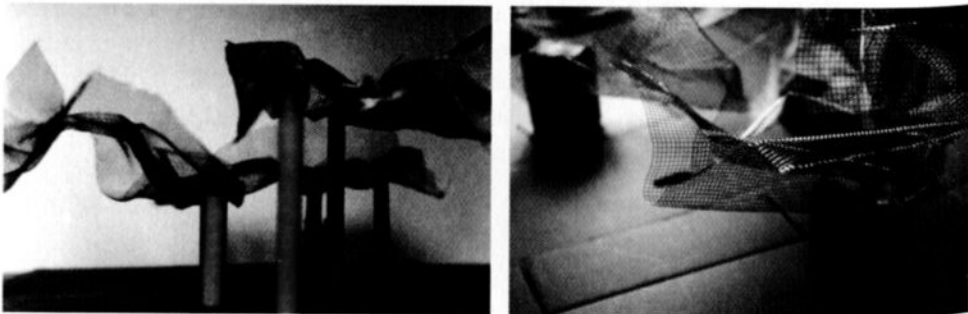
Estas formas arrugadas son muy parecidas a las formas "naturales", que pueden seguir ciertos patrones determinados desde una óptica estadística, pero cuyos detalles no siguen ninguna regla. Las montañas son el resultado de la deformación de la superficie de la Tierra. En biología, este tipo de deformaciones se presentan en numerosos organismos, y la manera como se dan los pliegues es, en cada uno de los casos, única. Tomemos, por ejemplo, las huellas dactilares, los intestinos, la piel o las hojas. Todos estos patrones son simultáneamente regulares y aleatorias.

El problema que se deriva de trasladar estos patrones arrugados a la arquitectura no se debe tanto a cuestiones técnicas como a los motivos emocionales que suscitan. A pesar de estar familiarizados con estas formas, a menudo nos parecen estéticamente repugnantes, pues chocan con nuestro instinto de orden. El "Homo faber" intenta imponer sus opiniones geométricas en todo artefacto que crea. Sin embargo, cabe preguntarse si es esta la única actitud posible.

Pero las formas irregulares sin un aparente orden geométrico determinado pueden ser atractivas. Cuando menos la mitad de todos los patrones artísticos producidos a lo largo de la historia de la humanidad han sido anti-geométricos. Sirvan algunas de las figuras que ilustran este texto para introducir diferentes ideas visuales sobre la utilización de formas arrugadas en la arquitectura.

A menudo me han preguntado por las ventajas económicas de la técnica de las hojas arrugadas. He observado que la utilización de formas irregulares puede ser especialmente ventajosa en edificios de muy bajo coste en los que el habitante mismo participa en el proceso de construcción. A los indigentes de los países "en desarrollo" les puede resultar tremendamente complicado levantar una construcción sólida a partir de unos planos, ya que han de servirse de piezas hechas a partir de materiales recogidos al azar, apenas poseen herramientas y sus conocimientos son escasos (en el sentido que se le da hoy al término en los países industrializados). La "tolerancia" de estructuras irregulares como la de las hojas arrugadas es sorprendentemente elevada, y es precisamente este alto grado de tolerancia lo que facilita estos procesos de construcción.

figura 1



4.2. Cadenas espaciales

El siguiente paso que me propongo explicar nace de mi actitud personal en tanto que arquitecto. Muchos años atrás, trabajé en una propuesta de proyecto participativo en "estructura espacial rellenable".⁷ Estas estructuras básicas habían de ser tan regulares y uniformes como fuera posible, mientras que los vacíos entre los elementos estructurales se destinaban a espacio útil para viviendas u otros fines determinados por sus usuarios. Mis primeras propuestas se basaban en unas estructuras espaciales con soportes rectos, formas geométricas clásicas con vacíos cúbicos, adaptables al uso residencial tradicional.

Poco después, sin embargo, con motivo de un concurso en Túnez⁸ en 1959, se me ocurrió introducir elementos circulares en la definición de los poliedros que conformaban la retícula espacial. Estas estructuras, que bauticé como "cadenas espaciales", tienen algunas características peculiares que las hacen atractivas desde un punto de vista técnico. En primer lugar, las juntas entre elementos circulares son tangenciales, es decir que están situadas en los puntos de tangencia entre los componentes de la cadena.

Sin entrar en detalles técnicos, intentaré destacar otra característica de las cadenas espaciales que me parece fundamental para el tema de este texto. Dado que podemos definir un círculo como un polígono con infinitos lados, las cadenas espaciales dan pie a ejemplos interesantes de transición entre poliedros contiguos. Por ejemplo, un círculo puede ser visto como un cuadrángulo si lo vemos como la cara de un cubo o como un triángulo si se trata de la cara de un tetraedro. Por lo tanto, ese mismo círculo puede ser una interfaz común entre un cubo y un tetraedro. O lo que es lo mismo: una cadena espacial puede modificar su patrón geométrico, pasando en este caso de un cubo a un tetraedro, en cualquier interfaz, sin que ello implique más elementos que un anillo circular.

Un modo de visualizar las cadenas espaciales es por medio de la compactación de esferas agrupadas, de tal modo que sus puntos de contacto se transformen en círculos de contacto. En este caso, las esferas dan lugar a poliedros más o menos irregulares. Las retículas de cadenas espaciales regulares son el resultado de la agrupación de esferas del mismo tamaño dispuestas de acuerdo con un patrón regular. Cuando empezamos a agrupar esferas de diferentes diámetros, dispuestas de acuerdo con un patrón irregular, la estructura se transforma en una estructura aleatoria o indeterminada, sin una regla de composición evidente. Si dos poliedros contiguos de una cadena espacial comparten el mismo anillo en tanto que cara común, es imposible predecir cómo será uno de los poliedros

en función del que lo antecede. La configuración de una cadena espacial puede cambiar en cada uno de los pasos del proceso de construcción. De este modo, podemos decir que las cadenas espaciales son potencialmente indeterminadas.

He dado el nombre de cadenas "proteicas" a algunas de estas estructuras indeterminadas, por cuanto las configuraciones que se obtienen de este proceso de construcción secuencial nos recuerda a los giros y los nudos de las moléculas proteicas tal y como la representan los biólogos. En las cadenas espaciales proteicas, el giro de dos poliedros vecinos esféricos es impredecible (figura 2).

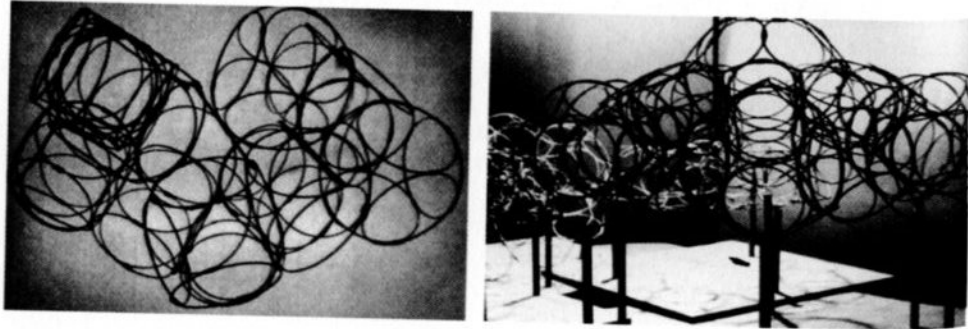
5. La importancia de las estructuras erráticas en arquitectura

Examinemos la importancia de estas configuraciones indeterminadas en diferentes ámbitos del diseño arquitectónico. Tomemos, por ejemplo, los laberintos, que siempre han fascinado a los arquitectos. Si trazamos el plano de una ciudad que trascienda la mera representación de sus calles y añadimos espacios útiles como habitaciones, pasillos o escaleras, obtendremos, desde un punto de vista topológico, un grafo no planar de gran complejidad, un "hiperlaberinto" (figura 3).

Sin embargo, estos laberintos no son sino el primer paso hacia la complejidad errática. En mis estudios de finales de los años sesenta, la complejidad se debía a la distribución arbitraria de volúmenes o cerramientos que definían las viviendas y de los huecos que servían como espacios patios. Se generaba así un orden arbitrario en el interior de una retícula sumamente regular y simplificada ("infraestructura"). En las propuestas que se presentan en este texto, he intentado potenciar el carácter aleatorio de la distribución de volúmenes de esos estudios y he procurado hacer que la propia retícula sea lo más aleatoria posible (figura 4).

Tiempo atrás, cuando no era sino un estudiante de arquitectura, tenía la sensación de que sería injusto privar al "usuario futuro" de su derecho a dar forma a un espacio habitable de acuerdo con la iniciativa emocional de éste. La toma de decisiones suele estar reservada al arquitecto, de manera que los edificios

figura 2



acaban siendo la expresión de su creador, no la del usuario. Cuando empecé a trabajar como arquitecto y como docente, se me ocurrió que esta imposición era mucho más injusta de lo que había imaginado en mis tiempos de estudiante. Todas mis propuestas, tanto teóricas como prácticas, respondían a este deseo de permitir que el futuro usuario del espacio habitable diera forma a su entorno, construido o no construido, reduciendo a la mínima expresión la participación del arquitecto.

Este objetivo es posible si se logra conciliar la decisión del futuro habitante con un marco técnico y conceptual que permita que sus decisiones no le perjudiquen ni a él, ni a sus vecinos. Y cuando hablo de perjudicar, quiero decir que no debe poner en peligro ni la solidez de la estructura, ni la posibilidad de utilización de los espacios individuales y públicos. Las decisiones individuales no deberían suponer un obstáculo para las decisiones individuales de otras personas en cuestiones de supervivencia o de orden estético.

Las estructuras indeterminadas aquí propuestas se acercan mucho a este objetivo, más aún que las infraestructuras regulares que propuse en el caso de la "arquitectura móvil". Combinando retículas regulares, como las cadenas espaciales, con órdenes arrugados o proteicos, las posibilidades combinatorias de los espacios útiles pueden ser prácticamente ilimitadas. Esta afirmación se corresponde con la definición de patrones erráticos que figura en el segundo apartado de este texto.

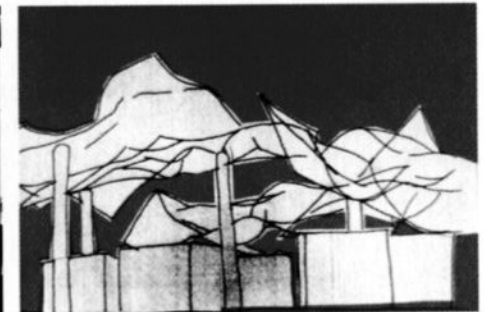
6. Estructuras erráticas y calidad del espacio arquitectónico

Las hojas arrugadas generan espacios arquitectónicos que van mucho más allá de los espacios con los que trabaja la arquitectura actual. Las estructuras irregulares "diluyen" el espacio al acabar con las referencias que nos sirven para orientarnos. No hay formas o rasgos que podamos calificar o memorizar. Resulta difícil incluso representar tales espacios "diluidos" a través de planos arquitectónicos convencionales. La mejor manera de representar esta arquitectura sobre el papel es

figura 3



figura 4



sirviéndose de las líneas de contorno. Los dibujos en perspectiva que figuran en este artículo se basan en fotografías de diversas maquetas. Se asemejan más al arte abstracto, y no es fácil que los espectadores sepan interpretar estos dibujos. El "espacio esculpido", un espacio que en ocasiones se da en arquitectura, no es un tema al que se preste el dibujo.

La dificultad de la representación gráfica con la que me topé en la arquitectura a partir de las hojas arrugadas se asemeja a los problemas que plantea la representación gráfica de las cadenas espaciales, aunque la principal diferencia desde el punto de vista "artístico" podría ser que, mientras que las hojas arrugadas "diluyen" el espacio, las cadenas espaciales, y más concretamente las estructuras "proteicas", no sólo desorientan a quien mira las representaciones gráficas de tales estructuras, sino también a la gente que se encuentra "dentro" de las mismas, por cuanto pierden las referencias visuales. No existe una sola referencia sencilla de memorizar, y toda vez que la mayoría de configuraciones de cadenas espaciales son conjuntos ordenados de componentes idénticos, la impresión que se tiene desde su interior es que se trata de un todo totalmente errático.

Esta característica de las cadenas espaciales, de la que se pueden servir los arquitectos creativos, introduce la "indeterminación virtual" en el vocabulario de la arquitectura. Esta indeterminación virtual no equivale a la "indeterminación efectiva", aunque una no excluye a la otra. Aclaremos conceptos: las configuraciones "virtualmente erráticas" de las cadenas espaciales son espacios en los que los espectadores pierden la orientación, aun cuando los diseñadores de dicha estructura conozcan y comprendan la regularidad del conjunto, dado que el proceso de ensamblaje no es en modo alguno aleatorio. Las "configuraciones efectivamente erráticas" se construyen siguiendo pasos totalmente aleatorios. Con todo, las estructuras efectivamente erráticas no tienen por qué crear espacios que desorienten al espectador.

Los laberintos suponen un espacio efectivamente errático. A cada paso del proceso de construcción de un laberinto le sigue un paso que no está predeterminado por el anterior. Las cadenas de espacios "proteicas" pertenecen a estos laberintos, y tal vez también se encuentren entre las configuraciones más erráticas posibles, pues resultan desconcertantes tanto para el constructor como para el espectador.

Cabe preguntarse de dónde les viene a los arquitectos el interés por las estructuras erráticas o aleatorias. Una buena pregunta a la que no puedo responder sin hacer un apunte personal en relación con los "modelos del universo". En todos

los períodos históricos de diseño de edificios y ciudades de los que tenemos conocimiento, la arquitectura y el urbanismo se han remitido, consciente o inconscientemente, al modelo del universo tal y como lo percibe la gente de cada uno de esos períodos. Esta observación es aplicable a civilizaciones tan diferentes entre sí como el antiguo Egipto, la bizantina o la medieval en Occidente o la renacentista. Estando como estoy personalmente convencido de que la imagen del universo, tal y como nos la presenta la ciencia, puede caracterizarse por cuanto cada vez son más las excepciones a la regla que las propias reglas, sentimos que el mundo es indeterminado. A esta tesis me he referido extensamente en mi libro sobre el "universo errático".⁹

La arquitectura actual, tanto la posmoderna como la post-posmoderna, está empapada instintivamente de esta tendencia, si bien no es consciente de ello. Y esta actitud se pone claramente de manifiesto con el uso de la irregularidad deliberada y de los aspectos antilógicos de la arquitectura contemporánea.

La investigación de la indeterminación en las estructuras nos acerca a esta búsqueda de lo irregular. Este texto no tiene más propósito que animar a los investigadores a que den el paso.

- 1 Friedman, Y., *La arquitectura móvil*, Poseidon, Barcelona, 1978.
- 2 Ibidem
- 3 Friedman, Y., "Erraticity in Mathematics", en Hill, A., *Man, Arts, Maths* (inédito)
- 4 Friedman, Y., *L'Univers erratique*, Presses Universitaires de France, París, 1994.
- 5 Friedman, Y., "Nature and architecture: From randomness of style in Evolution of Natural Sciences", *SFB 230* (Stuttgart), 1994, pp. 223-228.
- 6 *L'Univers erratique*
- 7 Friedman, Y., *International Space-Frame Journal* Núm. 4, 1991, pp. 254-263.
- 8 *Rome Tecnife In Bâtiment* núm. 79, París, 1960, pp. 17-22.
- 9 *L'Univers erratique*.

Estructuras irregulares

Manual y texto de introducción publicados en *Domus* Núm. 893, 2006

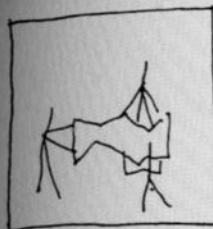
Las estructuras irregulares son interesantes no sólo por la riqueza de formas que producen, sino por las ventajas que supone su puesta en obra, que permite una inusual tolerancia a la imprecisión. Esta circunstancia las hace accesibles al constructor amateur, alguien sin conocimientos específicos ni herramientas sofisticadas. El hecho de simplificar las técnicas de construcción puede tener importantes consecuencias desde el punto de vista social.

Las artes culinarias ofrecen una buena analogía. La cocina puede ser muy sofisticada, pero de forma general la practican la mayor parte de amas de casa, cada cual según sus propias recetas. La cocina admite imprecisión e improvisación.

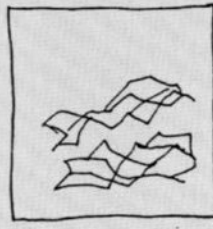
Las estructuras admiten improvisación; no sólo la admiten, sino que la exigen. No se puede dibujar con facilidad el conjunto de planos de una estructura irregular; hay que improvisarla in situ. Las maquetas nos pueden ayudar a estudiar el comportamiento de la estructura, y construir maquetas puede ser fácil, pero no podemos traducir directamente la maqueta a escala real.

Para la arquitectura, las estructuras irregulares podrían representar un acercamiento a las "artes plásticas". Sin ser realmente escultura, ni expresar ideas abstractas (ni concretas), sino conceptos prácticos y agradables, como las artes culinarias.

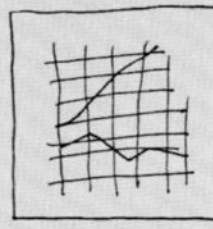
En las páginas siguientes, más que teoría o consideraciones estéticas, presento una serie de "recetas", indicaciones de bricolaje sobre cómo puedes construir estas estructuras irregulares. A partir de aquí, la iniciativa está en tus manos.



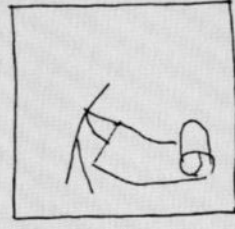
Las estructuras irregulares se pueden construir con facilidad,



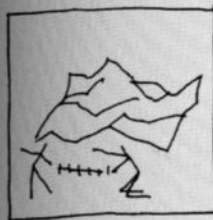
pero es difícil dibujarlas sobre papel.



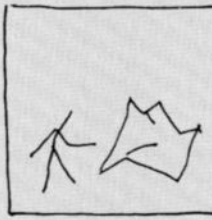
No siguen ninguna regla fácilmente formulable.



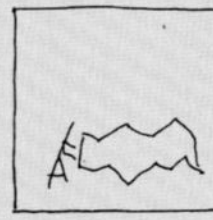
Pero se pueden presentar como métodos aplicables en obra.



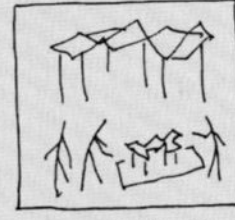
Es importante indicar que estas estructuras no exigen precisión.



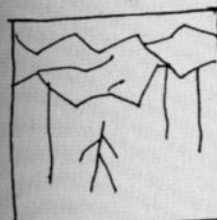
Admiten cierto grado de negligencia en su implementación, lo cual es incompatible con cualquier trabajo profesional.



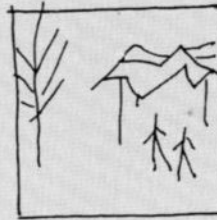
Cualquier persona puede construirlas.



Estas estructuras no pueden representarse en su totalidad, ni siquiera por medio de maquetas.



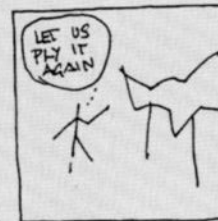
Sólo puedes experimentarlas a escala real,



in situ.



Las estructuras irregulares están abiertas a la improvisación,



a su continua transformación,



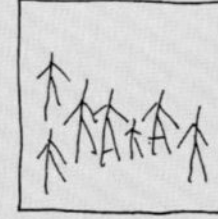
no tienen una forma final,



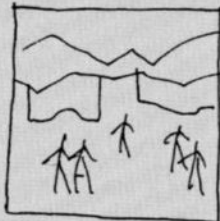
son procesos abiertos



que definen una arquitectura "blanda"



que se adapta a una sociedad "blanda".



Las consecuencias arquitectónicas para una sociedad "blanda",



consisten, en primer lugar, en quién toma qué decisiones.



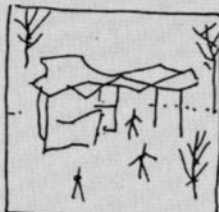
Moralmente, debería ser la persona interesada, el habitante. Técnicamente, eso es más difícil.



El método natural a seguir es el de "ensayo y error", abierto a correcciones posteriores.



Para que el usuario pueda llevarlas a cabo, las correcciones exigen técnicas poco complejas.



El método de "ensayo y error" sólo es posible a escala 1:1, in situ. Se trata de algo más que un juego.



Las correcciones suelen ser improvisadas



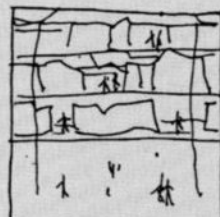
(como todo en la vida).



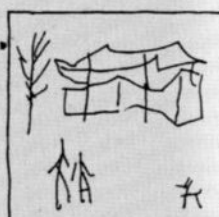
Las estructuras irregulares son especialmente apropiadas



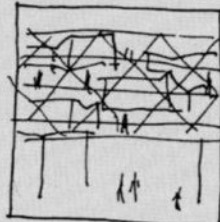
para un proceso continuo de ajuste,



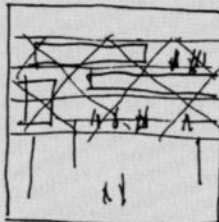
tanto a nivel de detalle en una estructura colectiva,



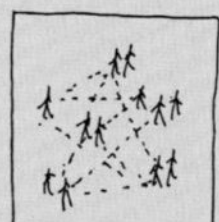
como de forma aislada en viviendas unifamiliares.



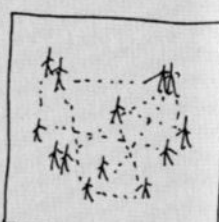
La arquitectura móvil implica organizaciones irregulares y aleatorias.



El objeto arquitectónico evoluciona con el desarrollo vital del habitante.



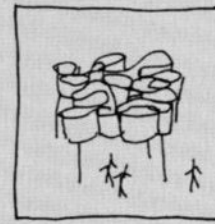
La sociedad no es un mecanismo, sino un proceso



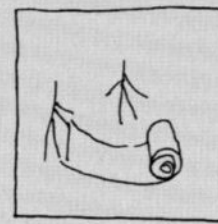
sin un único estadio final.



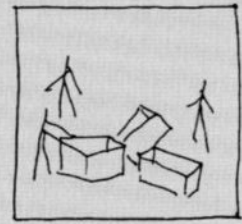
Dado que las estructuras irregulares han de ser ensayadas a escala natural,



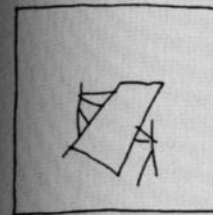
podemos construir maquetas 1:1 en cartón,



con rollos,



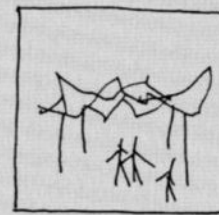
con cajas,



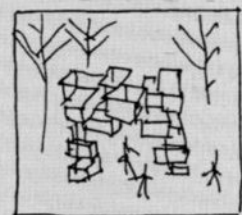
con planchas...



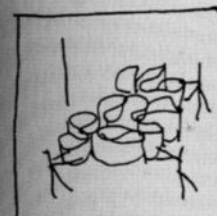
Estas maquetas a escala natural expresan las cualidades físicas de las formas,



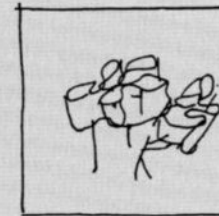
cualidades estéticas del objeto,



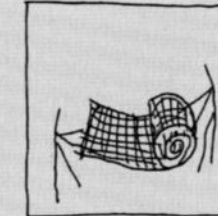
y pueden ser utilizadas incluso como construcciones efímeras.



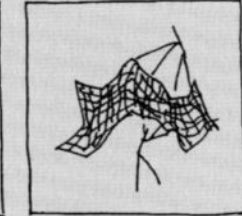
Las maquetas en cartón a escala 1:1



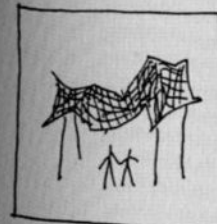
facilitan el proceso de "ensayo y error".



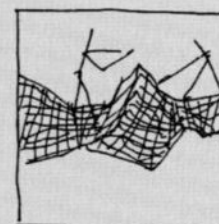
Se puede utilizar otro material: rejillas de alambre



que pueden ser moldeadas a mano.



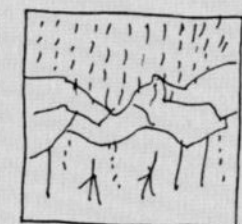
Las construcciones hechas con esta malla metálica



son menos efímeras.



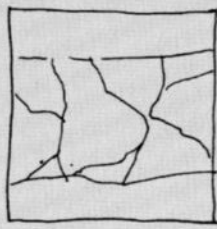
Las mallas metálicas se pueden combinar con láminas de plástico



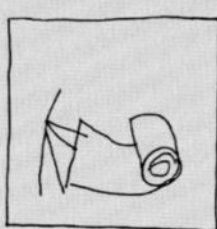
y pueden utilizarse como refugio.



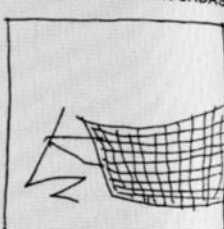
Las hojas arrugadas son estructuras con pliegues,



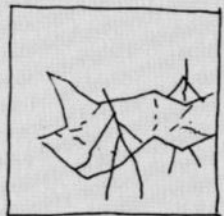
sin ningún orden regular.



Puedes simplemente escoger un material moldeable pero suficientemente resistente,



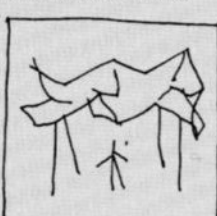
como por ejemplo una rejilla metálica.



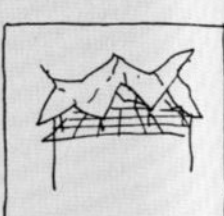
Doblas esta rejilla y la deforma según te convenga.



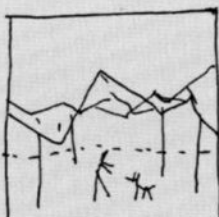
La hoja arrugada resultante es una estructura



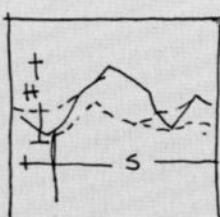
que puedes utilizar como cubierta



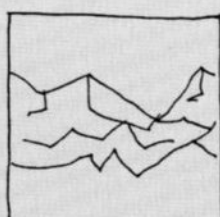
o como soporte de cualquier tipo de techo que cuelgue de ella.



La solidez de la hoja arrugada está relacionada con la geometría del pliegue:



la altura debe ser considerable (por ejemplo la mitad de la anchura, $H=1/2 S$)



y los pliegues no deben ser paralelos.



Los pliegues pequeños ayudan a distribuir las cargas.



Una cubierta de este tipo puede ser bella



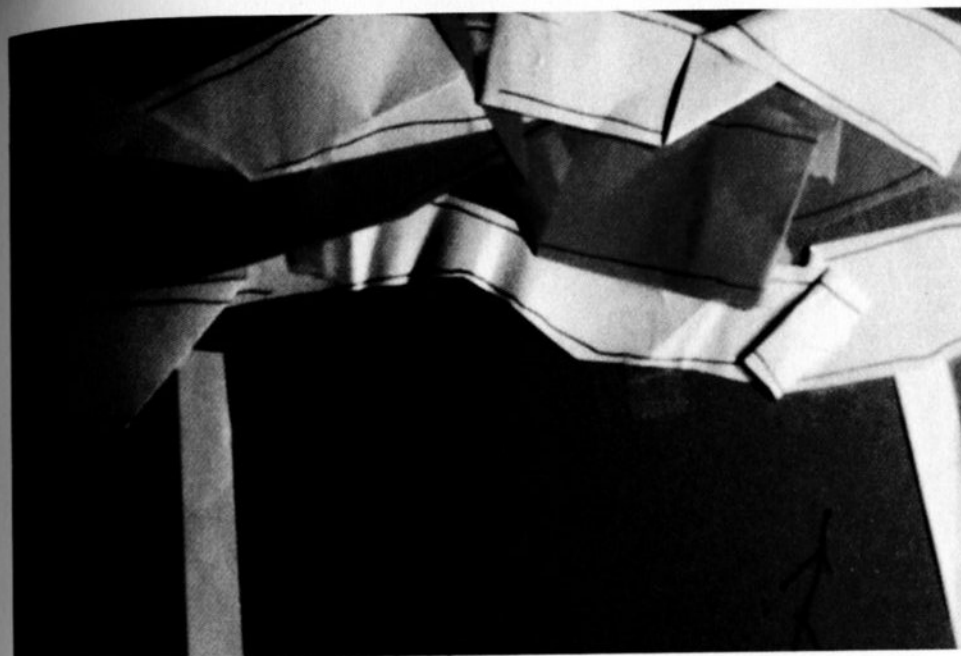
y resistente. Además, puede modificarse cuando sea necesario.



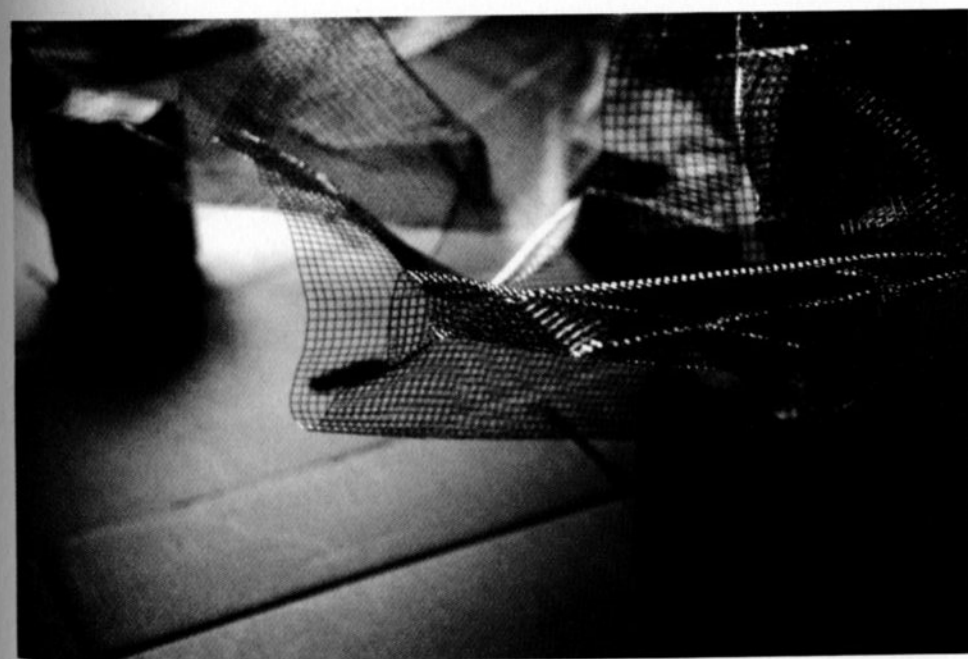
Pero no puede ser utilizada como cerramiento por sí sola,

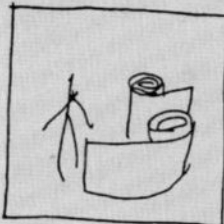


ya que el agua de lluvia se acumularía en algunos puntos.

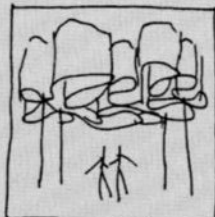


Hojas arrugadas





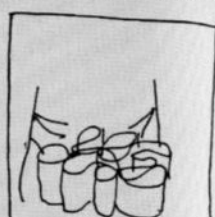
Mediante rollos de cartón o de rejilla metálica



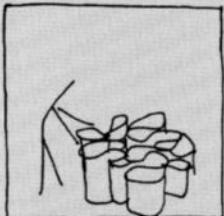
puedes construir lo que llamo estructuras "laminares".



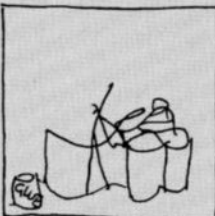
Simplemente debes desenrollar "la cinta" con gran libertad compositiva.



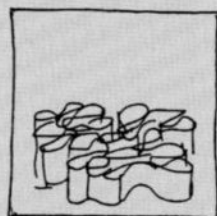
Hay que tener en cuenta que no deberían formar grandes huecos, compositiva.



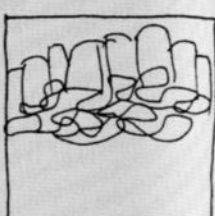
ni agrupaciones demasiado sueltas: es conveniente que el radio no supere la mitad de la altura.



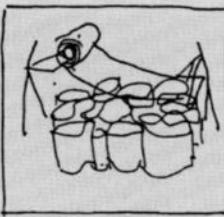
Pega los bucles de la cinta en sus puntos de contacto.



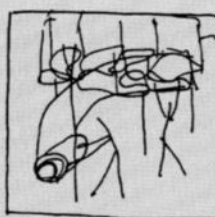
Organiza posteriormente todos las agrupaciones de bucles en un único plano horizontal.



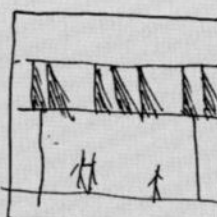
Este plano conforma una estructura sólida de cubierta.



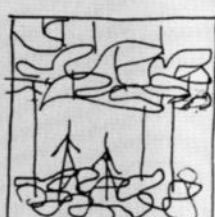
Si adhiries una lámina de plástico a esta estructura, tanto en su cara superior



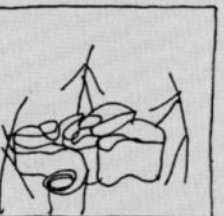
como en la inferior,



obtendrás una cubierta transparente que actúa a la vez como filtro solar



y cuya sombra dibuja curiosos motivos en el suelo.



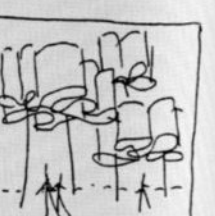
Este tipo de cubierta se basa totalmente en la improvisación



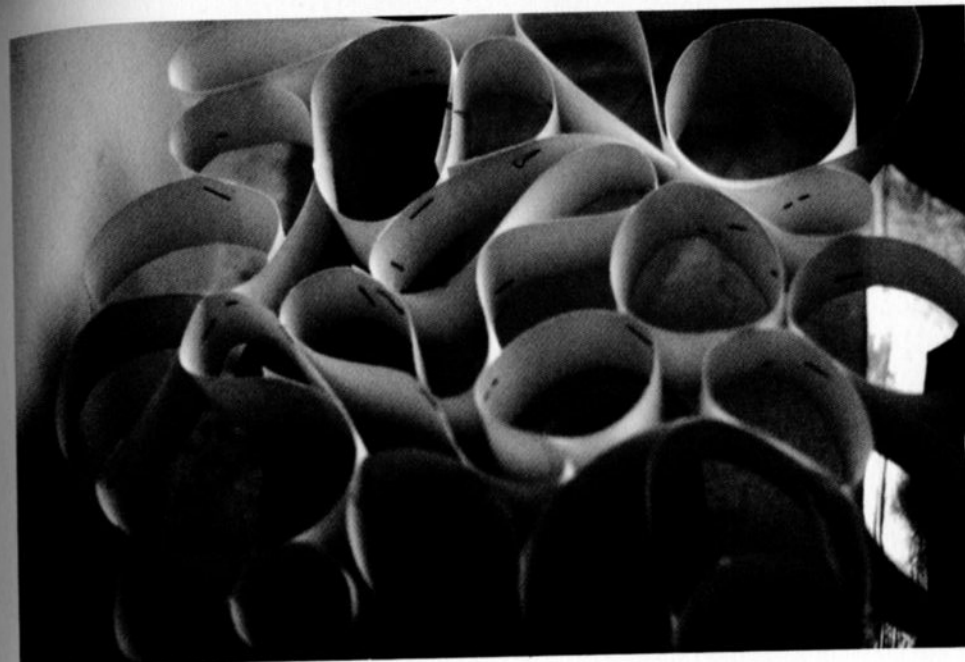
y se puede reconfigurar con facilidad.



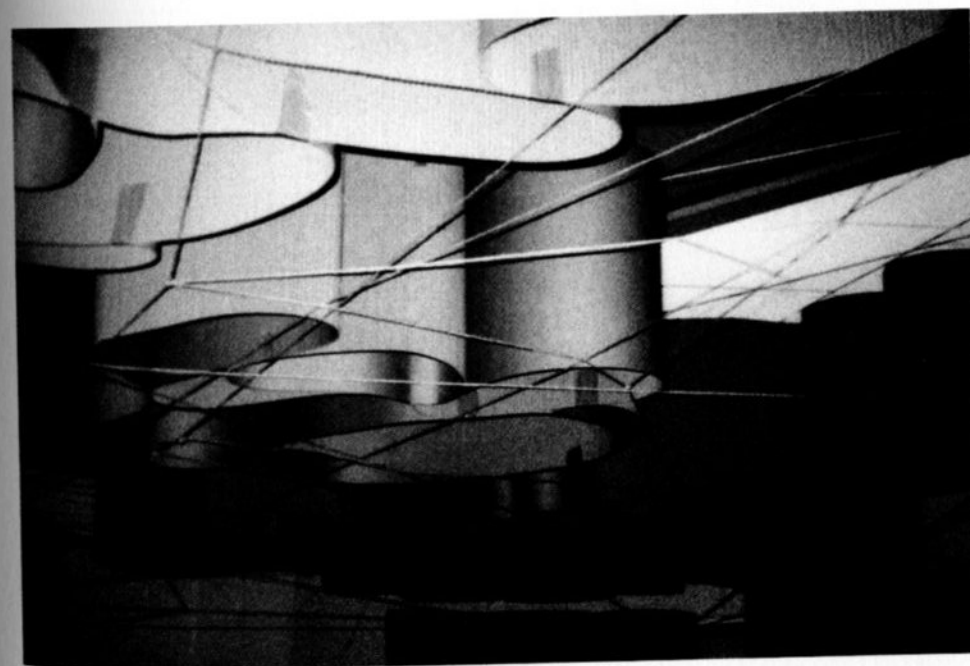
Cualquier persona puede hacerla.

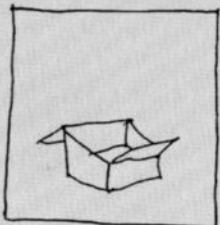


El arte de construir está abierto a todos.

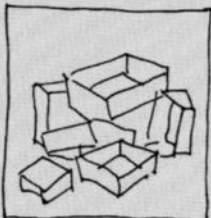


Estructuras laminares

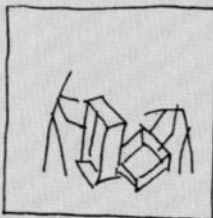




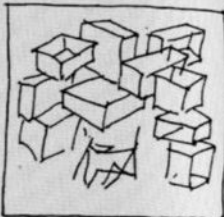
Las cajas de cartón utilizadas para embalar suelen tirarse después de usarse.



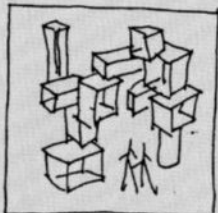
Nuestra civilización industrial produce muchos objetos de este tipo.



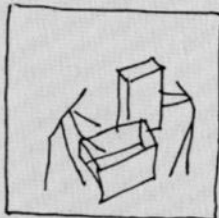
Nos olvidamos con demasiada frecuencia que los residuos son una forma de materia prima.



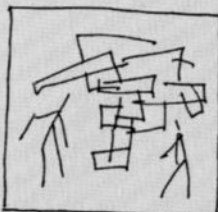
Podemos construir refugios de emergencia con cajas de cartón,



o incluso monumentos (seguramente efímeros),



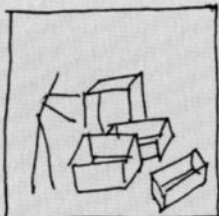
utilizando una técnica muy simple.



Sólo necesitas las cajas que puedas encontrar en los contenedores de basura



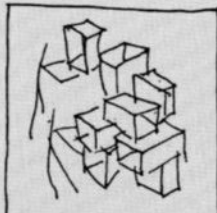
y un buen adhesivo.



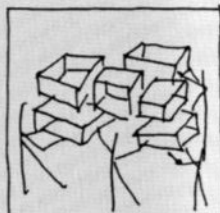
Dispones pequeños grupos de cajas en cualquier configuración



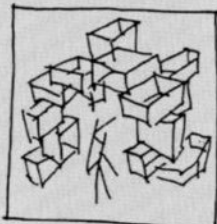
y las pegas con buenas dosis de adhesivo.



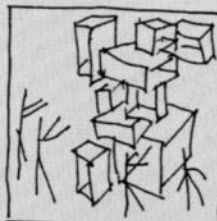
Puedes utilizar estos grupos como elementos de un muro



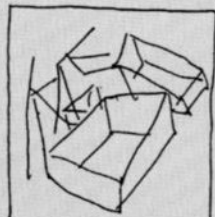
o de una cubierta,



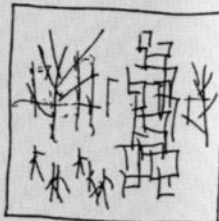
y construir con ellos tu refugio



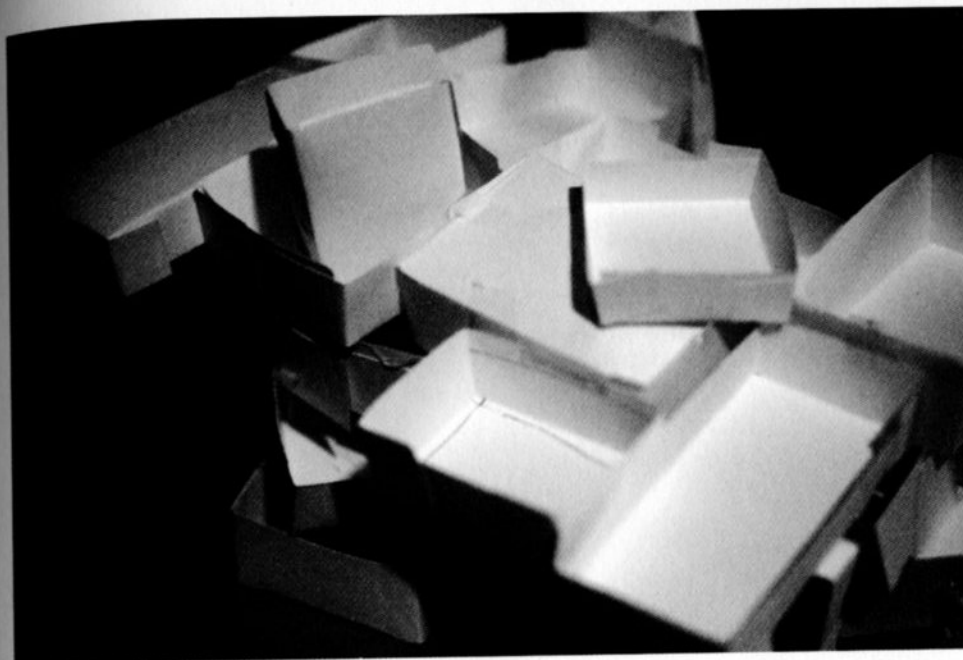
o cualquier obra de arte.



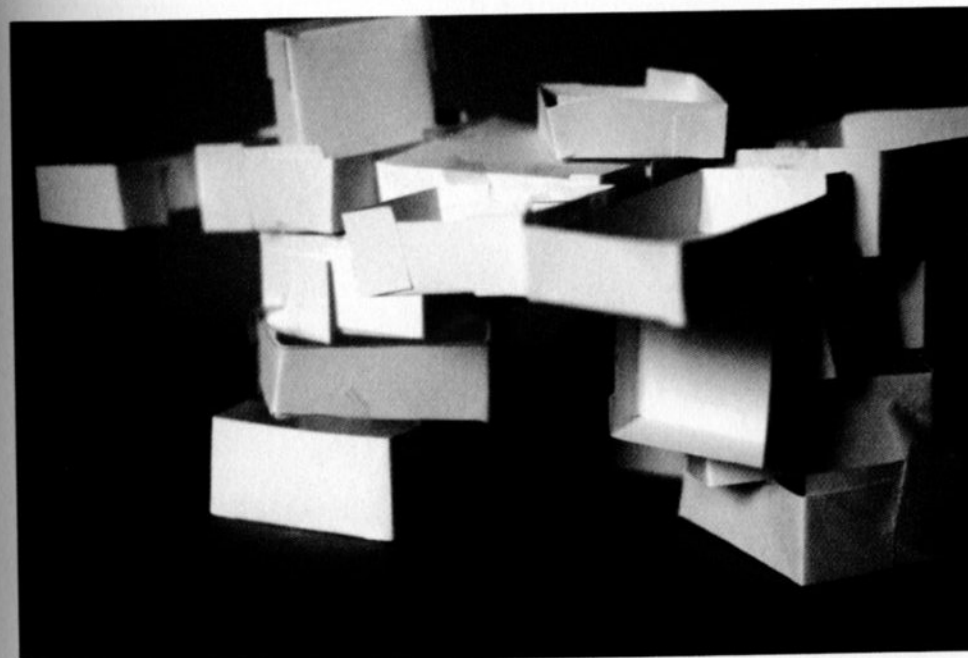
Las cajas de cartón son los ladrillos de los más pobres

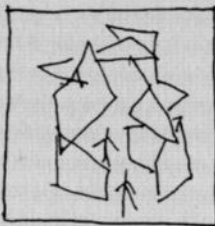


y de los más sofisticados.

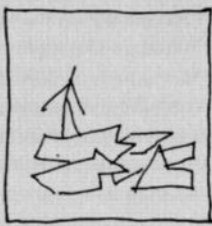


Cubiertas-caja

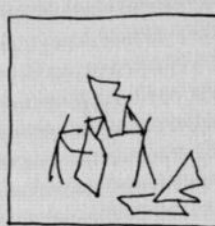




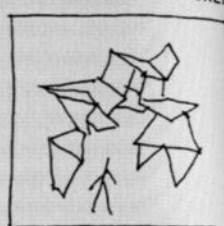
Hay unas estructuras que denomino "Merz-strukturen" en homenaje al Merzbau de Schwitters.



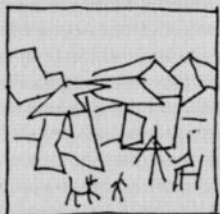
Se construyen a partir de piezas irregulares de cualquier material: madera, metal, vidrio, cartón, plástico.



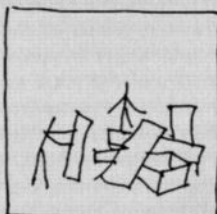
que las haces encajar como pue das,



siempre y cuando la estructura sea estable.



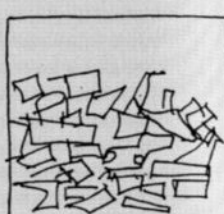
Estas estructuras son características de los barrios de chabolas,



donde la gente debe utilizar, para construir su casa, cualquier cosa que encuentre.



En nuestra sociedad industrial, el material que se produce en mayor cantidad es el residuo industrial.



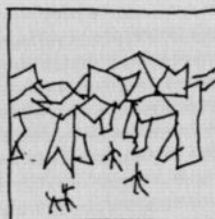
Ésta es la materia prima más rica de nuestra época.



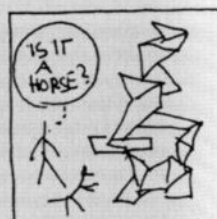
Para cualquier cosa que quieras construir, puedes encontrar materiales adecuados en la basura.



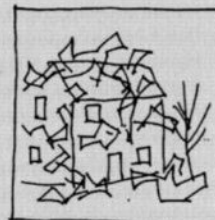
Con ellos puedes producir formas fantásticas:



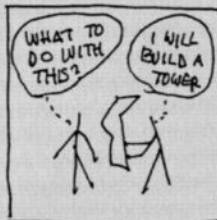
cubiertas,



monumentos,



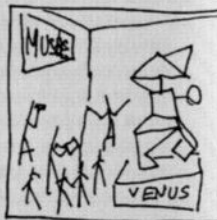
o simples decoraciones.



No puedes planificar; sólo improvisar.



La agrupación aleatoria de objetos recogidos con un objetivo concreto



es una forma de definir el arte "moderno" (o de cualquier tipo).



Merzstrukturen

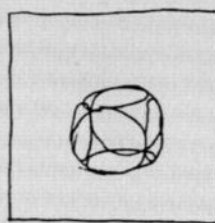




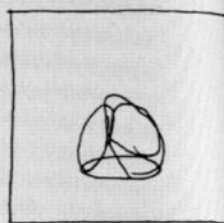
Las estructuras irregulares se pueden construir también con aros.



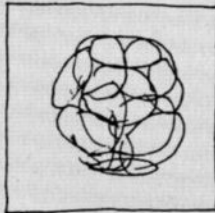
En primer lugar tienes que montar un poliedro regular.



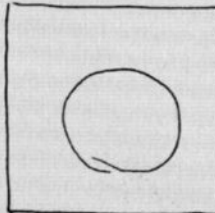
Por ejemplo, un cubo, cuyas caras están formadas por aros en lugar de cuadrados.



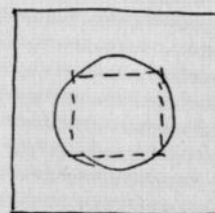
O un tetraedro, con círculos en lugar de triángulos.



O un dodecaedro con círculos en lugar de pentágonos, etc. Todas ellas son ejemplos de cadenas espaciales.



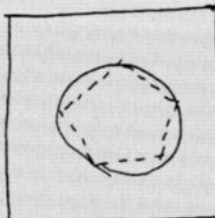
Pero un círculo es de hecho un polígono indefinido:



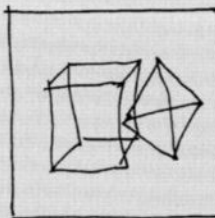
puede definir un cuadrado,



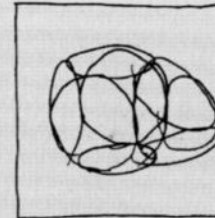
un triángulo,



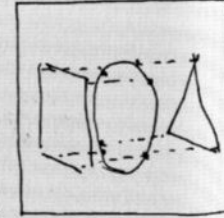
o un pentágono.



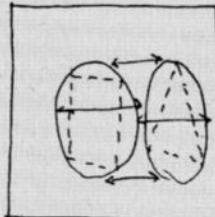
No puedes unir un cubo y un tetraedro (un cuadrado no es un triángulo),



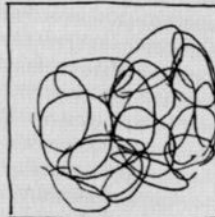
pero, mediante la técnica de la cadena espacial, puedes hacerlo.



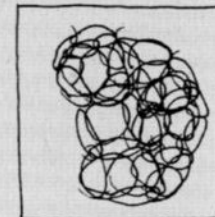
Aunque un aro sea un aro, puede ser un cuadrado por un lado y un triángulo por el otro.



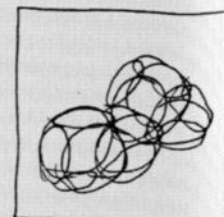
Puedes unir cualquier poliedro de caras circulares con cualquier otro.



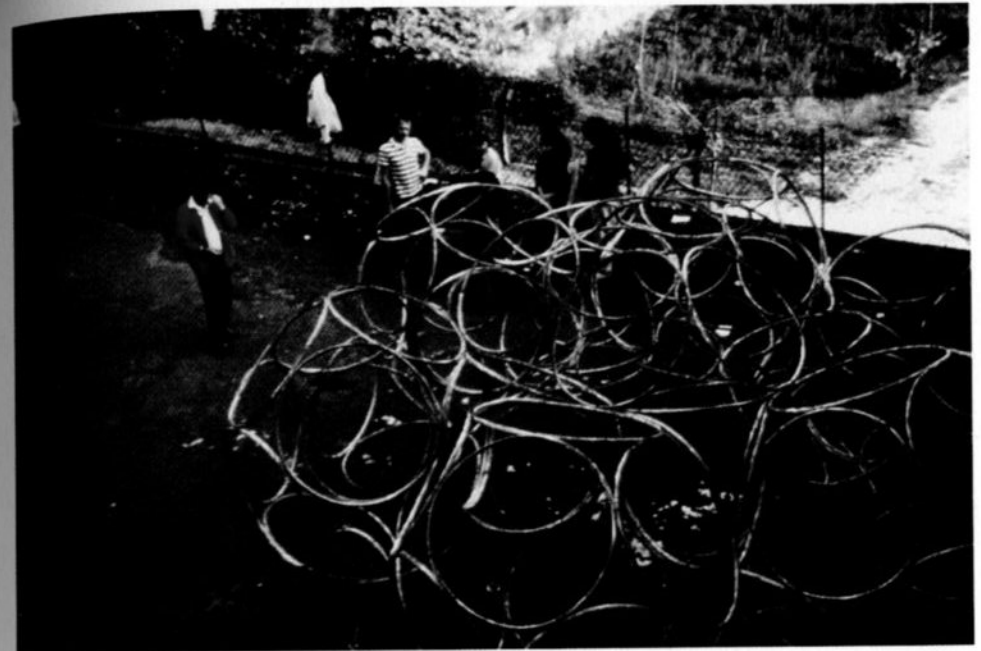
Ésta es la única regla geométrica de las cadenas espaciales,



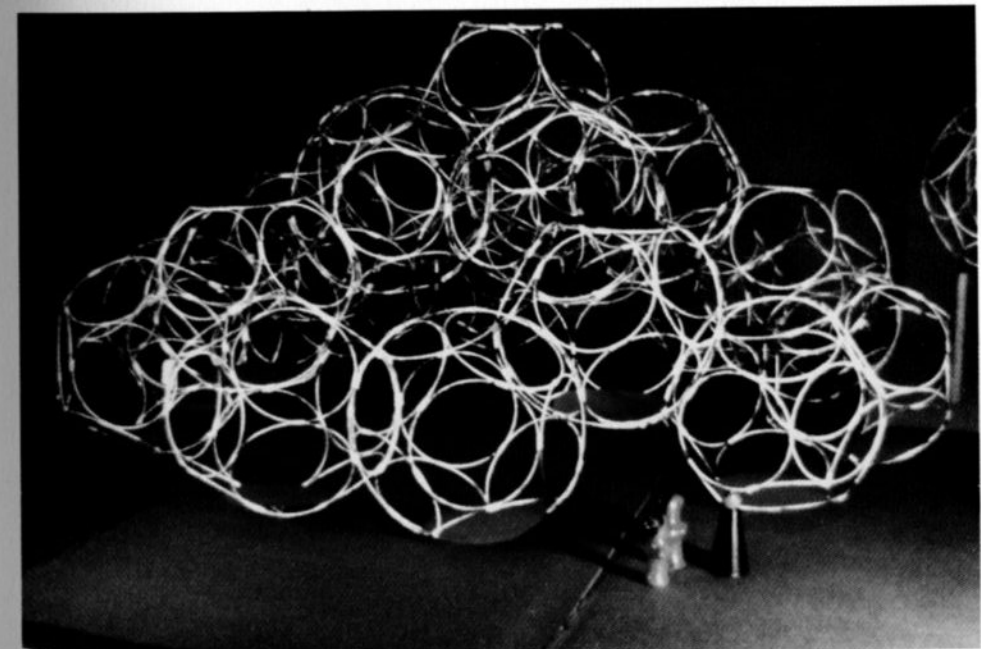
lo cual permite dar forma a cualquier combinación imaginable.



Estas estructuras desenfundadas son las que llamo estructuras proteicas.



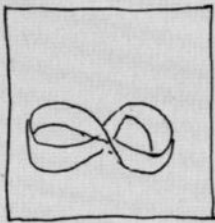
Cadenas proteicas



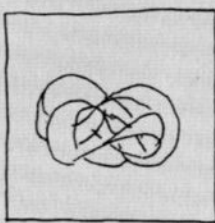
ESTRUCTURAS MOEBIANAS



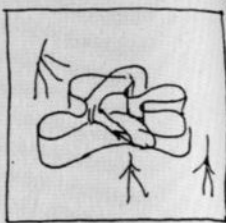
Un tipo especial de estructura laminar hecha de cintas



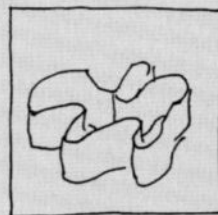
reproduce la cinta de Moebius.



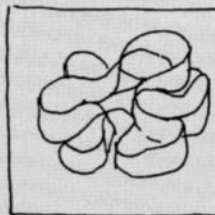
Son las estructuras moebianas.



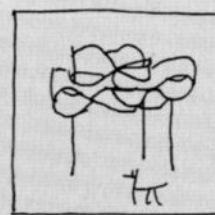
Constan de configuraciones laminares, como cualquier otra estructura laminar,



pero aquí, además de definir simples bucles,



tienes que girar la cinta sobre si misma periódicamente.



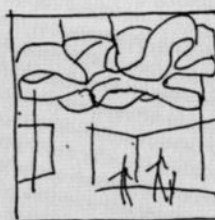
Las estructuras moebianas no son más sólidas que otras laminares,



ni más sencillas de construir,



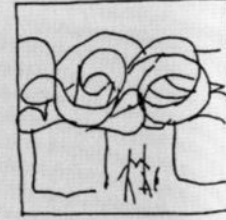
pero su vocabulario estético es mucho más rico.



Difuminan la luz en los espacios interiores



y generan espacios nunca vistos.



Son las estructuras más barrocas que ha producido la historia de la arquitectura.



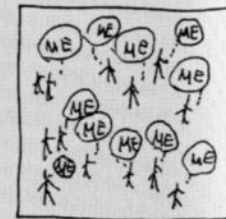
Son expresión de los intereses del individuo.



Pero una gran concentración de ellas reduce esta expresividad



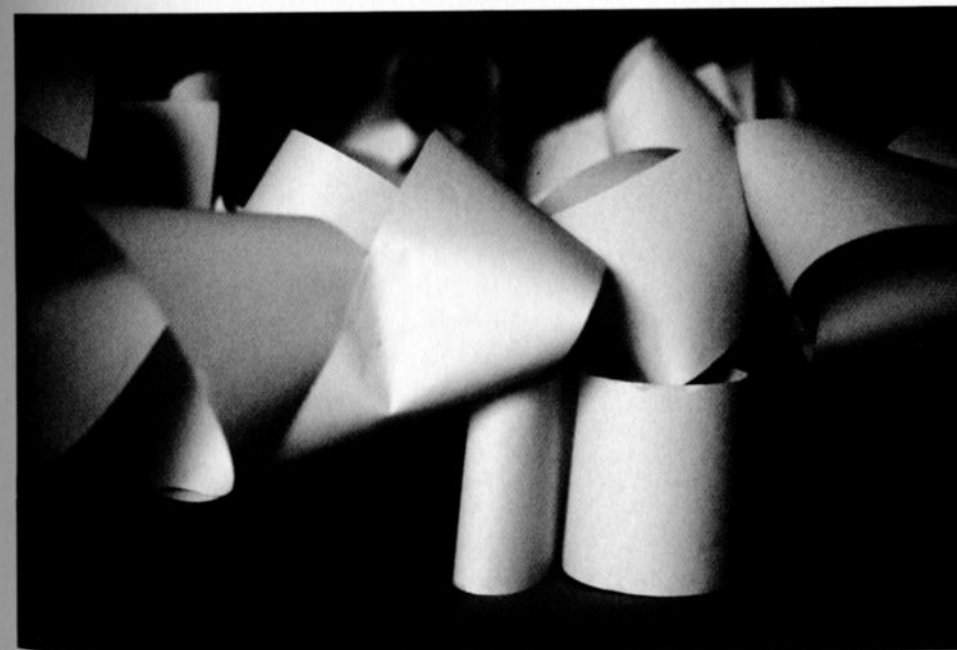
y generan, como todo exceso de barroco, monotonía.



El individualismo de masas es un fenómeno de masas.

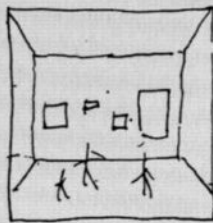


Estructuras moebianas

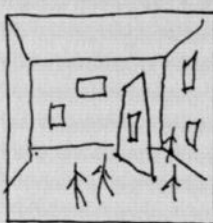




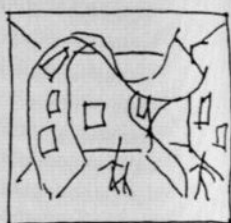
Las estructuras irregulares pueden transformar completamente el interior de un edificio existente.



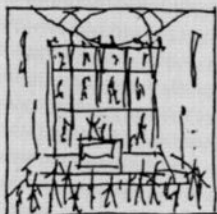
Por ejemplo, una sala de exposiciones



en la que las obras se muestran sobre las paredes o en paneles verticales



cambiaría por completo si se reconfiguraran los paneles expositivos.



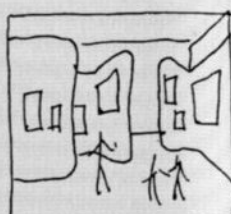
Utilizo para estos paneles el nombre que reciben en las iglesias ortodoxas: iconostasio.



Podemos producir iconostasios de cualquier forma con facilidad:



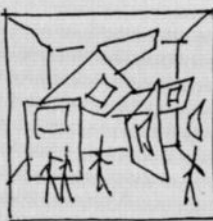
iconostasios arrugados,



laminares,



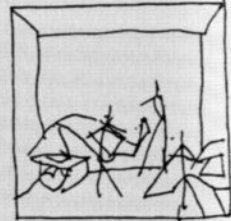
moebianos,



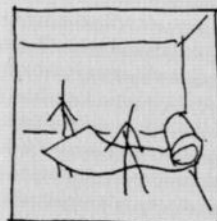
or merzianos,



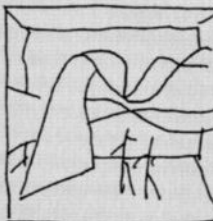
con una configuración principalmente vertical,



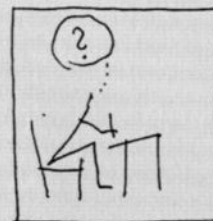
or principalmente horizontal.



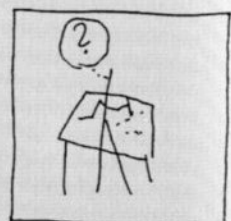
Las técnicas son las mismas que para cualquier estructura irregular,



pero el impacto emocional de estos espacios



es difícilmente describible



o dibujable.

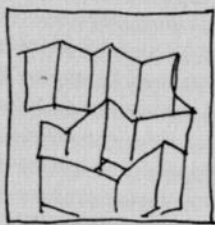


Iconostasios de distintos tipos

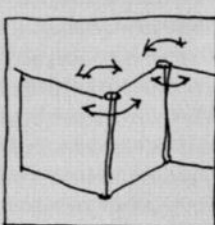




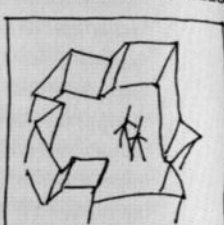
La estructura irregular más sencilla es una cadena de paneles.



Se construye mediante una serie de placas de distintos tamaños unidas en forma de cinta



mediante charnelas elásticas.



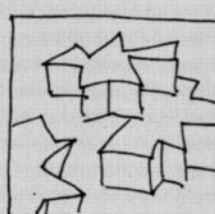
De esta forma, pueden disponerse libremente.



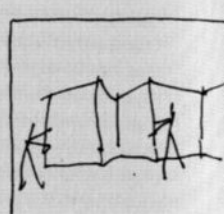
Los paneles que componen la cadena no tienen necesariamente la resistencia suficiente para soportar una cubierta.



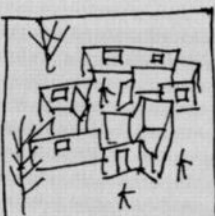
Las cadenas de paneles sirven para definir cerramientos



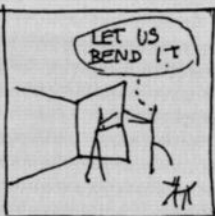
en el interior de un gran armazón estructural como el que define la Ville Spatiale.



Es algo parecido a un biombo



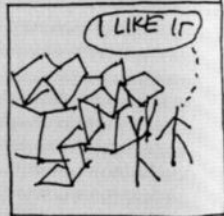
que te permite definir la planta de tu casa



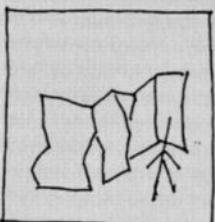
y modificarla cuando quieras.



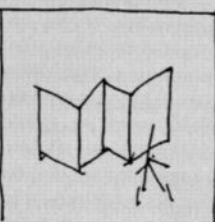
La disposición de los paneles no sigue ninguna regla predeterminada,



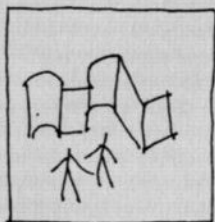
excepto las que dicten tus preferencias.



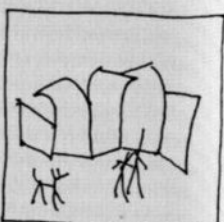
Naturalmente, los paneles de la cadena pueden ser de muchos tipos:



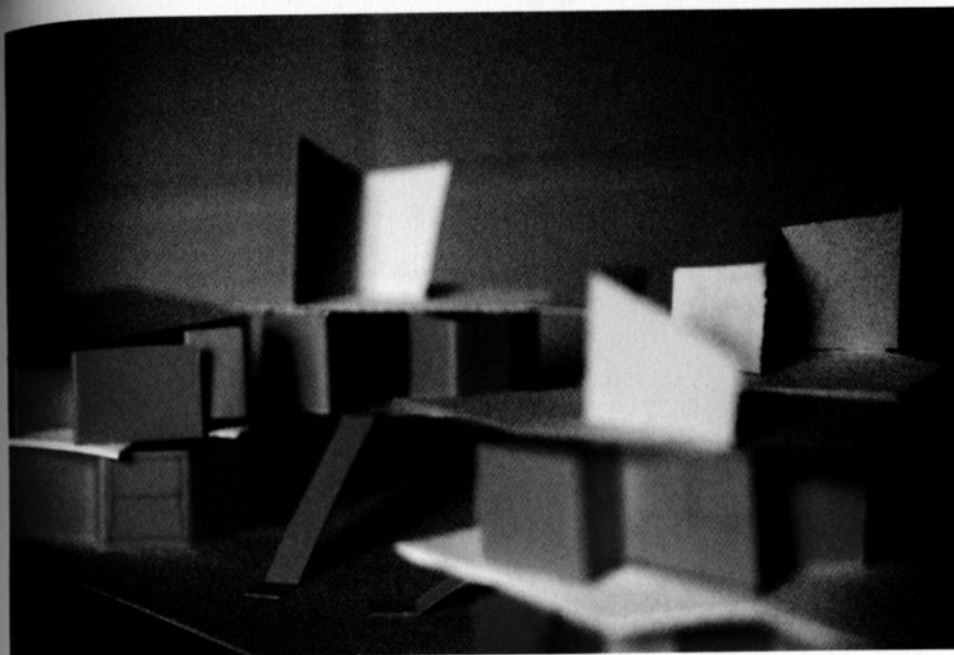
planos,



curvos,

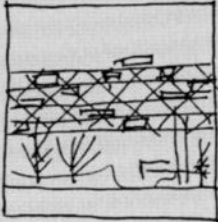


o con la forma que tú quieras.



Cadenas de paneles. Abajo, utilizadas como cubierta.

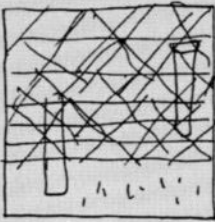




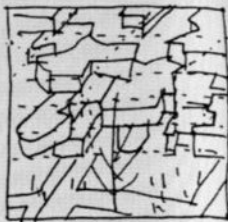
Por último, pero no menos importante, vuelvo a mi idea preferida: la "ville spatiale" (ciudad espacial)



Consiste en una cierta mezcla de reglas e irregularidad.



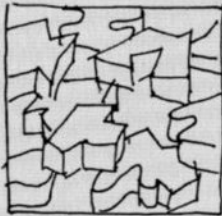
La ciudad espacial consiste en una retícula rígida de apoyo más o menos regular (la "infraestructura")



dentro de la cual se insertan las viviendas unifamiliares en una ordenación irregular.



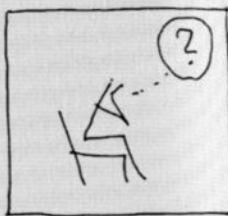
Las viviendas pueden tener cualquier forma.



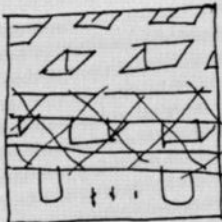
De este modo, la ciudad espacial es una "merzstrukturen" urbana, para una sociedad de masas formada por individuos.



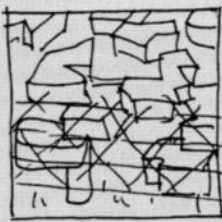
Nuestra sociedad contemporánea es así: una multitud.



No sé qué aspecto tendrá una ciudad espacial.



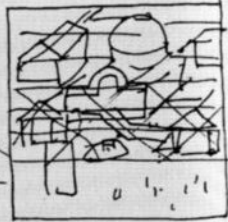
Puede ser así



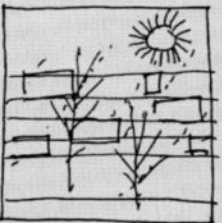
o así



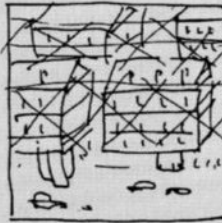
o así



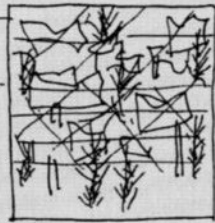
o de cualquier otra forma.



La ciudad espacial no sigue ninguna gramática, más allá que el respeto por la luz natural.



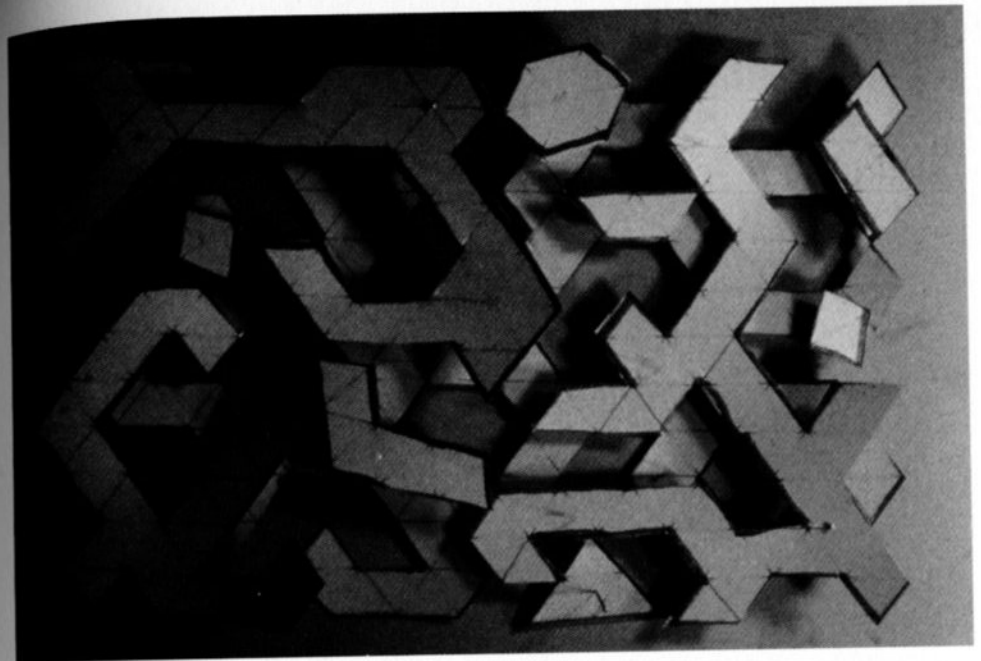
Puede tener el aspecto de tu ciudad actual,



o no parecerse a ninguna ciudad existente.

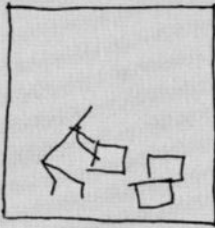


No se puede planificar. Sólo puede ocurrir.

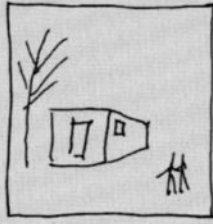


"Ville spatiale" (arriba: Ciudad entretejida, un laberinto espacial)





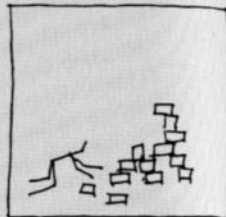
También puedes construir estructuras irregulares con elementos regulares.



Por ejemplo con contenedores.



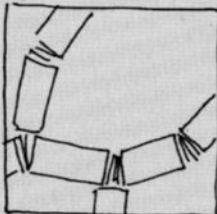
Los contenedores se pueden apilar con facilidad.



Puedes hacer con ellos lo mismo que con tu juego de construcción infantil.



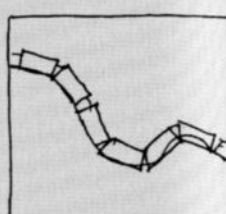
Una configuración interesante es lo que denomino "el tren".



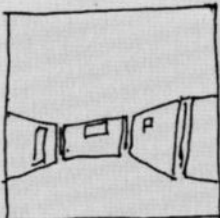
Se trata de una organización lineal de contenedores unidos mediante tubos flexibles



como los vagones de un tren.



Este tren puede adaptarse a trazados curvos complicados



a un solo nivel



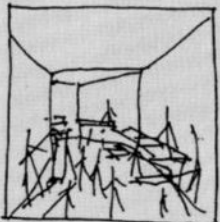
o en bucles a distintos niveles.



En arquitectura, hay usos que requieren una organización lineal del espacio



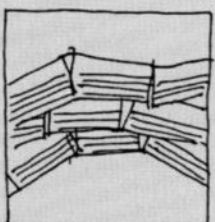
por ejemplo las exposiciones



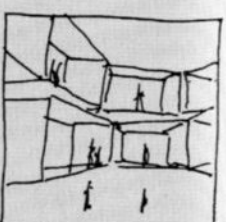
los bazares



incluso las tribunas



que no tiene por qué disponerse regularmente

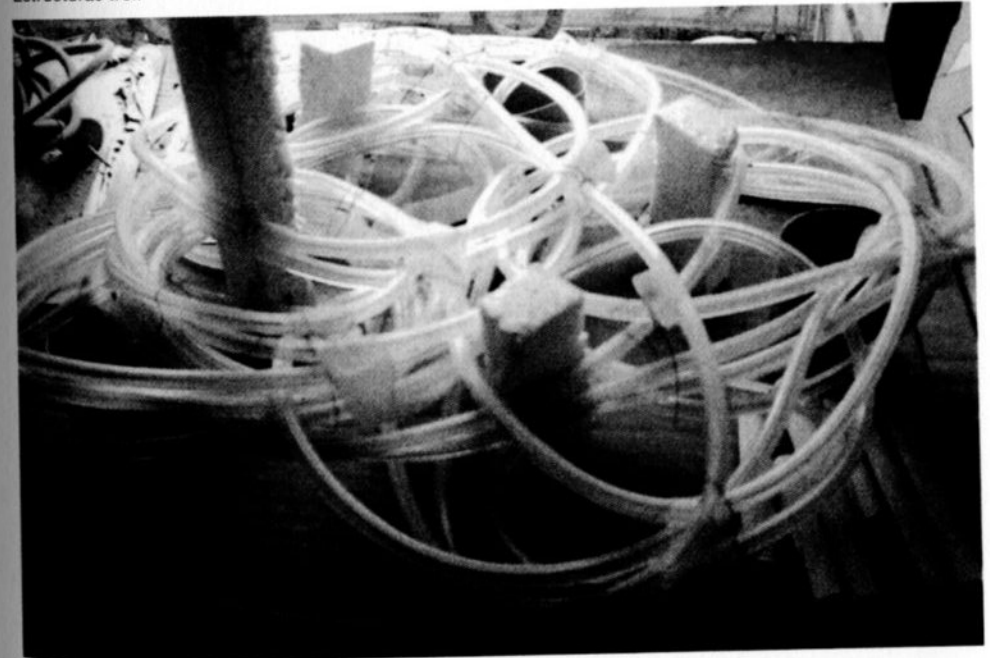


y pueden diseñarse como trenes.

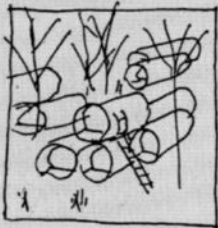


"Macarroni", un antepasado de los "trenes".

Estructuras tren



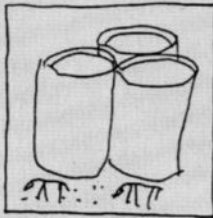
ABSTRACTOS



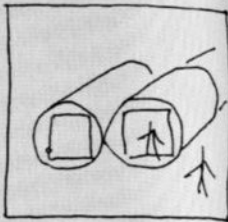
Otra organización irregular de componentes regulares



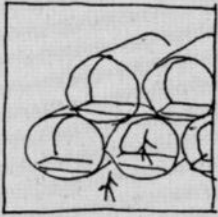
puede obtenerse con contenedores cilíndricos.



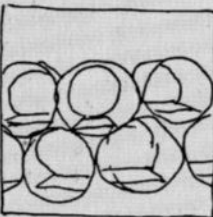
Los cilindros se utilizan en la agricultura para construir silos,



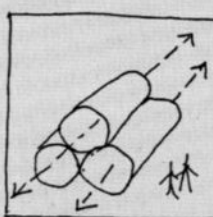
y también como espacios de almacenamiento o de comunicación.



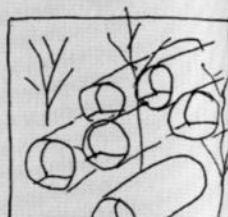
Los cilindros se pueden disponer en varios niveles



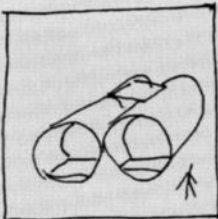
formando refugios de varias plantas.



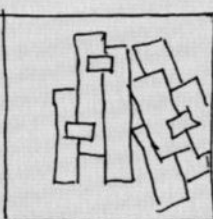
Estas organizaciones siguen unos ejes determinados. Esto es una constante.



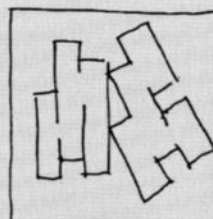
Pero es posible girar los cilindros sobre estos ejes.



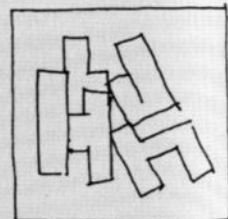
No es muy complicado técnicamente unir dos cilindros contiguos.



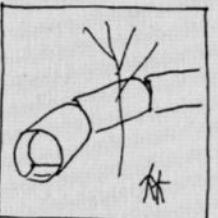
La unión y el giro de varios cilindros



produce una gran variedad de organizaciones en planta



que pueden modificarse con facilidad.



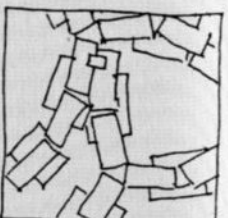
Los cilindros también pueden conformar "trenes"



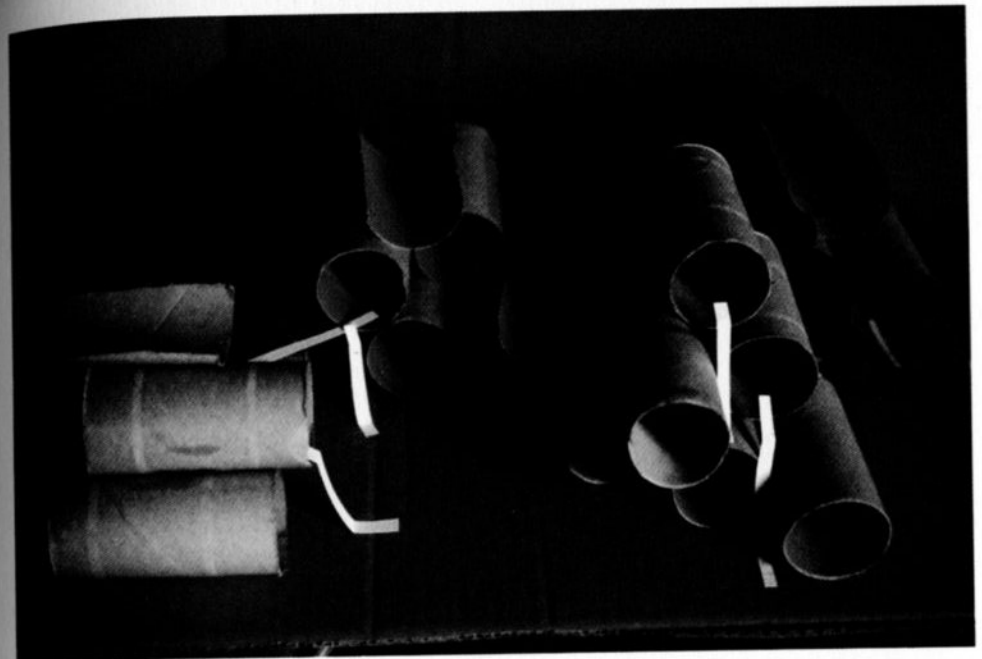
que pueden ampliarse mediante uniones sucesivas



y la suma de trenes a distintos niveles.



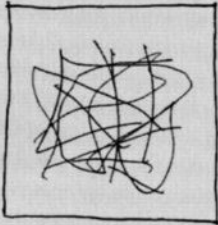
Existen muchos caminos posibles para las nuevas organizaciones urbanas.



Cilindros

Cilindros dispuestos en una estructura laminar

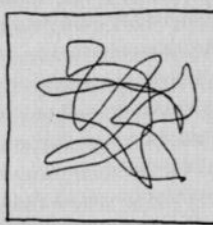




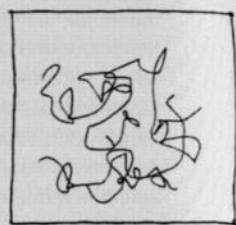
Un "gribouillis" es un trazado irregular y entrecruzado



que puedes dibujar en un papel



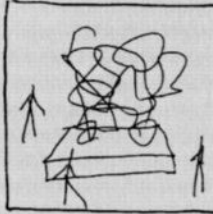
pero también construir en tres dimensiones,



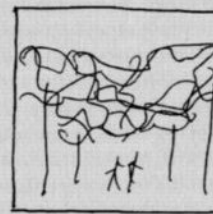
por ejemplo en alambre.



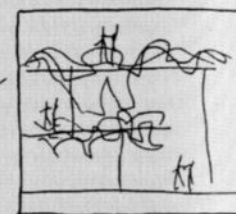
Un "gribouillis" tridimensional



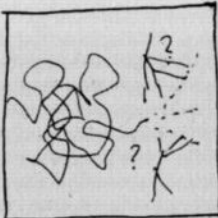
es, al mismo tiempo, una escultura



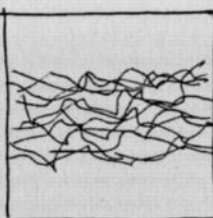
o una estructura espacial irregular



implementable en arquitectura o en ingeniería.



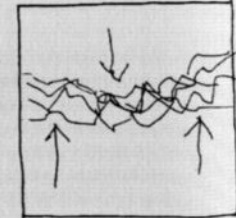
No existen reglas para la construcción de un "gribouillis" tridimensional.



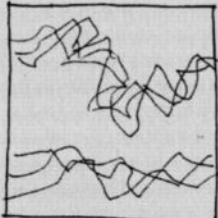
Puedes imaginario también como una estructura hecha con láminas o tejidos



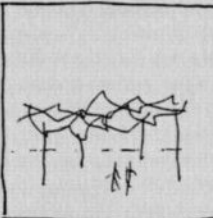
cuya geometría



asegura su estabilidad.



Puedes construir cualquier forma con este material:



cubiertas



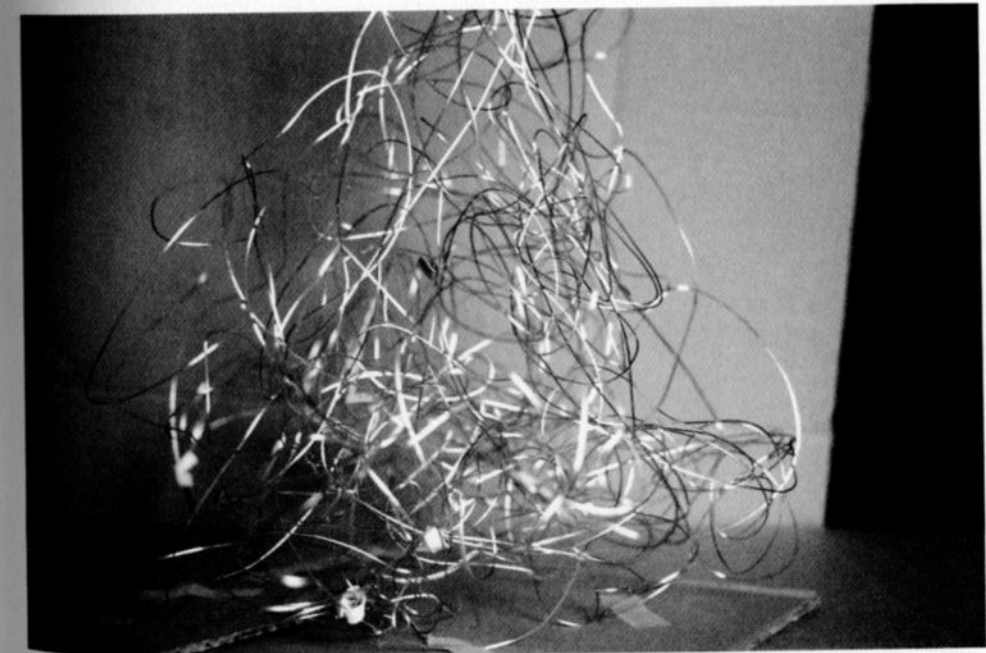
torres

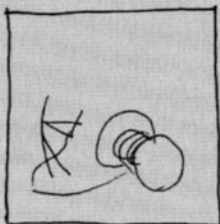


e incluso figuras.



Gribouillis (garabatos)

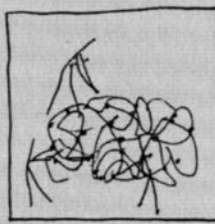




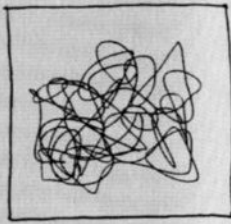
Coge un rollo de alambre grueso



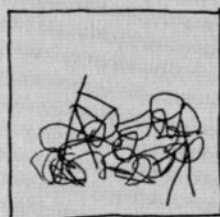
y enredálo.



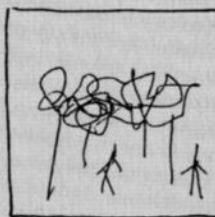
Fija los puntos de cruce.



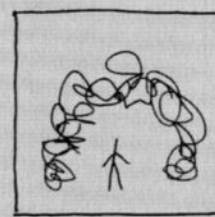
Dale la forma que te apetezca.



El alambre enredado forma una especie de forjado



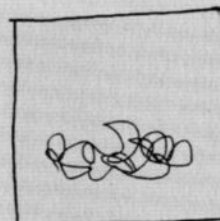
que puedes utilizar como soporte de una cubierta plana.



También puedes doblar el forjado de cable enredado y formar una bóveda de cañón



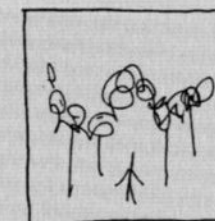
o cualquier otra estructura abovedada.



La estructura de cable o alambre enredado



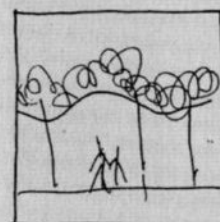
se comporta como una plancha gruesa de "macromaterial"



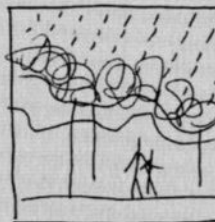
que te servirá incluso para construir estructuras arrugadas.



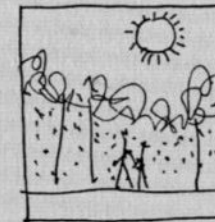
Es la estructura con mayor grado de improvisación que puedas imaginar.



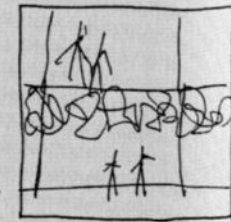
Como soporte de una lámina de material plástico



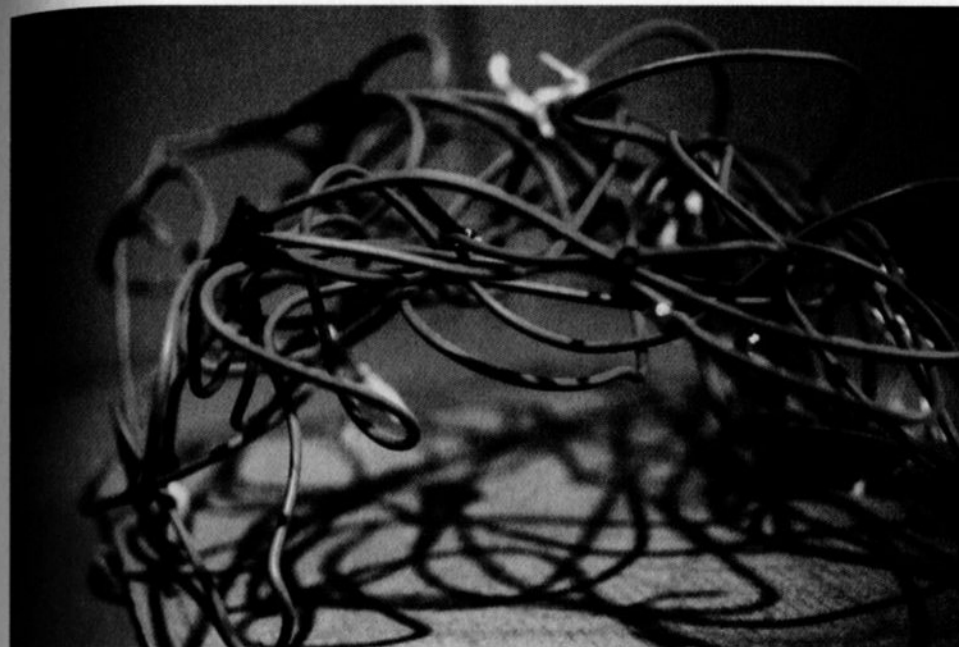
puede servir de cubierta,



de pérgola o parasol,

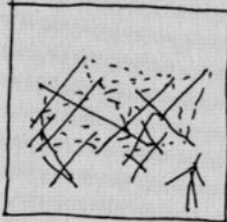


o incluso de piso.



Gribouillis (garabato)

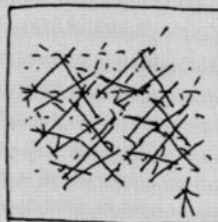




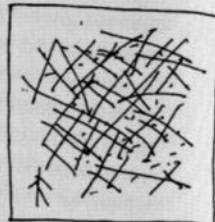
Las estructuras de tensegridad fueron dadas a conocer por primera vez (según creo) por Bucky Fuller



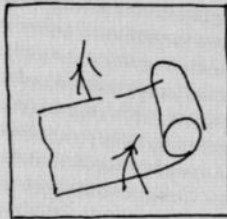
Muchos investigadores trabajaban sobre este concepto estructural



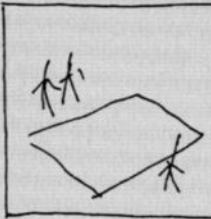
desde la base de geometrías regulares.



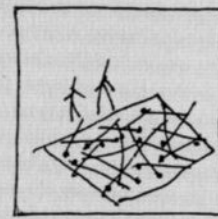
Pero también es posible construir tensegridades irregulares



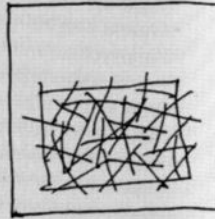
Para la tensegridad irregular utilizamos membranas en lugar de cables.



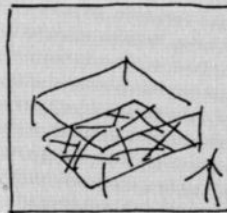
Extiende una lámina blanda de material plástico.



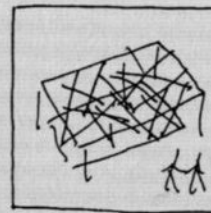
Fija sobre ella los tubos estructurales (tensores) por uno de sus extremos



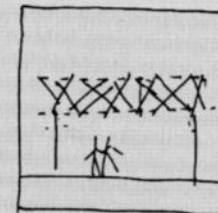
en un orden entrecruzado que te guste.



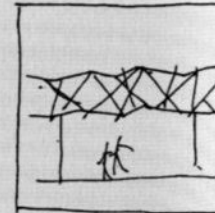
Extiende una segunda lámina a cierta altura por encima de la primera lámina



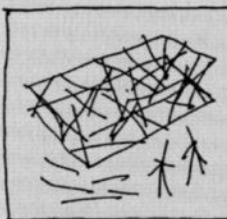
y fija en ella el otro extremo de los tensores.



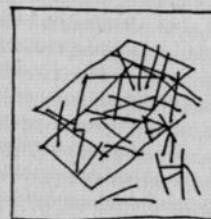
Obtienes así una estructura en la que los tubos transmiten las cargas a compresión



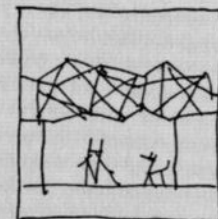
y las láminas absorben la tracción, al mismo tiempo que actúan como envolvente de la cubierta.



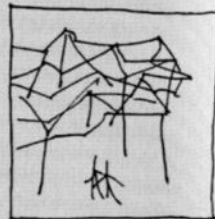
La composición de los tubos es totalmente libre.



A medida que construyes la estructura verás dónde tienes que añadir tensores.



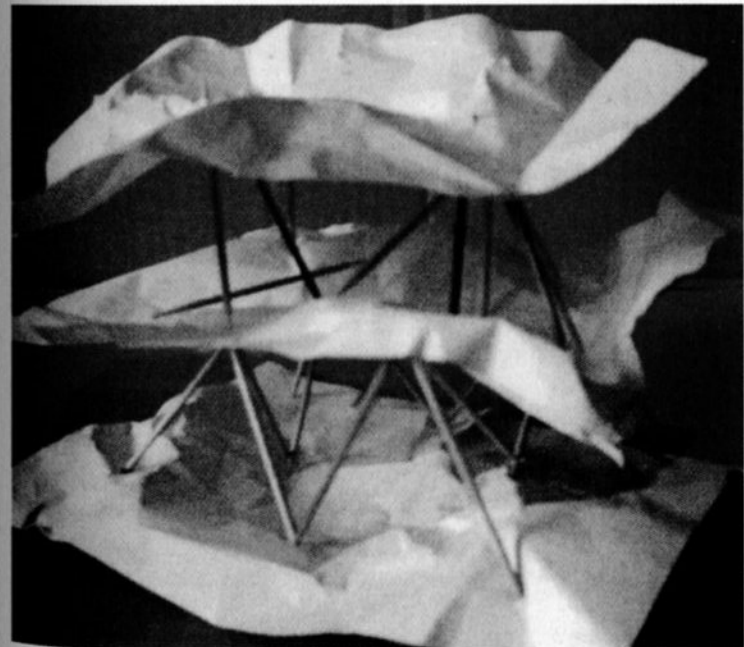
Puede ser una estructura muy elegante

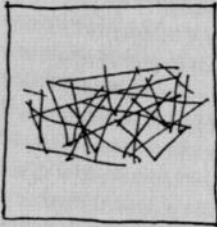


en cualquier emplazamiento. Disfruta con ella.

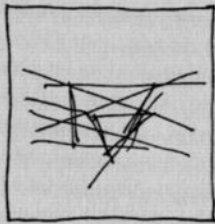


Tensegridad irregular

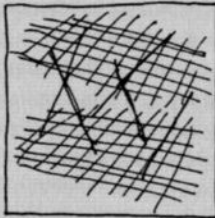




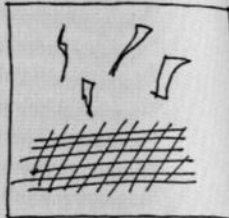
Las estructuras de "tensegridad" constan de miembros a tracción y otros a compresión.



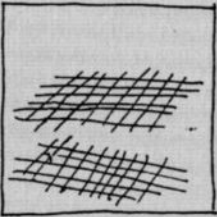
Se construyen normalmente con cables y tubos,



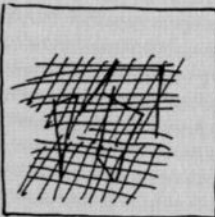
pero puede construirse también con retículas blandas y elementos rígidos a compresión.



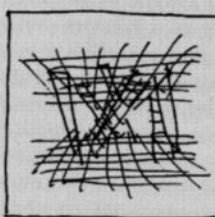
Las mallas sustituyen ocupan el lugar de los cables, y los tubos pueden adoptar cualquier forma.



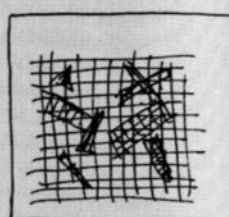
La construcción de una pseudo-tensegridad parte de dos capas de malla



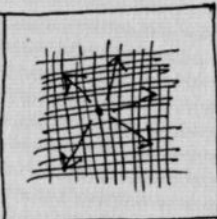
separadas por los miembros a compresión



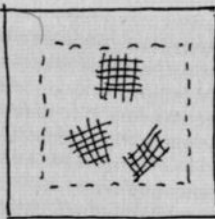
que se rigidizan mediante otras mallas menores.



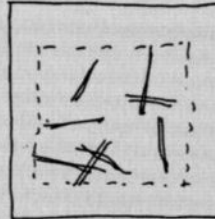
La pseudo tensegridad no sigue órdenes geométricos estrictos,



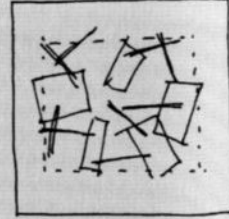
ya que una malla, a diferencia de una estructura de cables, trabaja en cualquier dirección.



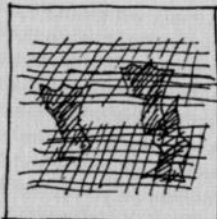
Por ello, tanto los miembros a tracción



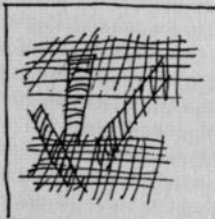
como aquellos que trabajan a compresión



pueden disponerse irregularmente.



Los miembros a compresión de cualquier geometría



y mallas a tracción distribuidas de cualquier manera



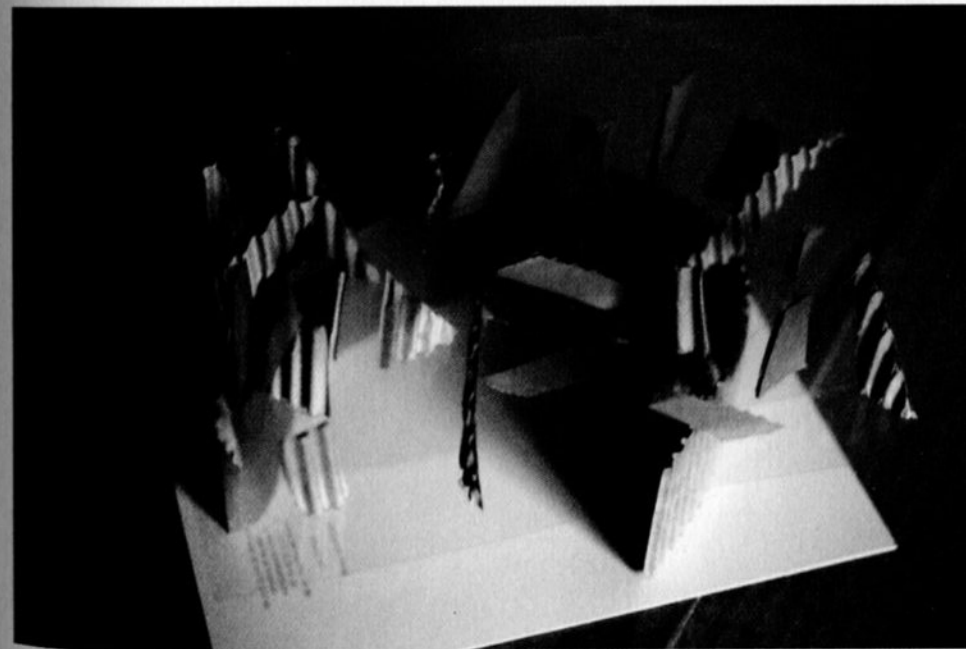
hacen de esta estructura

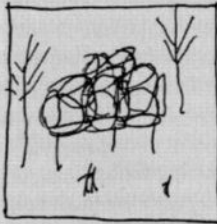


una especie de jungla artificial.

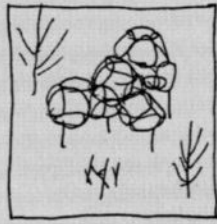


Pseudo-tensegridad





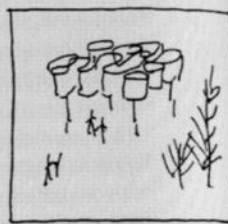
La mayoría de estructuras irregulares están formadas por un armazón: cadenas espaciales,



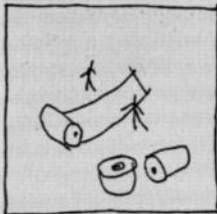
cadena proteicas,



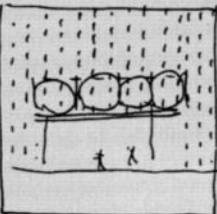
gribouillis,



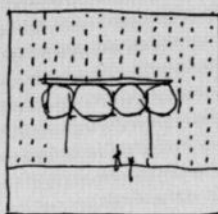
y, en cierto modo, también las estructuras laminares.



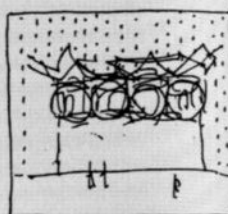
Todas necesitan una "piel de cubierta" para su utilización práctica.



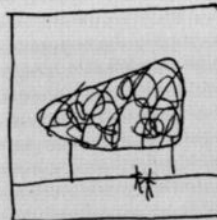
La "piel de cubierta" puede colgarse del armazón



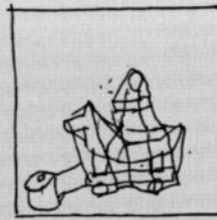
o apoyarse sobre él,



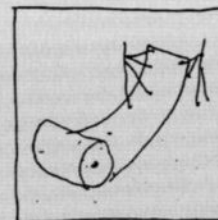
conformando hojas arrugadas o cualquier otra forma irregular.



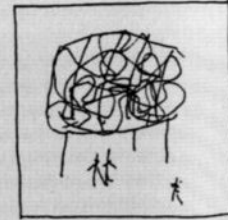
Otra forma de transformar un armazón en cubierta es la utilización de un "embalaje".



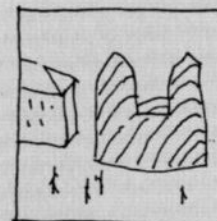
"Embalar" significa envolver un objeto con una hoja o lámina.



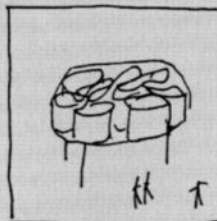
La manera más simple de "embalar" un armazón es utilizar una hoja de plástico



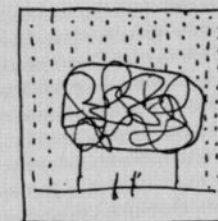
y envolverla alrededor del esqueleto estructural.



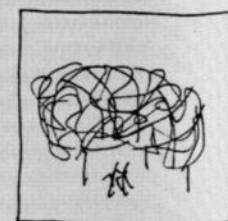
Un artista conocido, Christo, "embala" edificios existentes como una forma de arte.



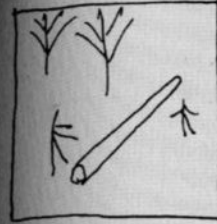
"Embalamos" un armazón estructural para hacerlos más resistente estructuralmente,



para impermeabilizarlo,



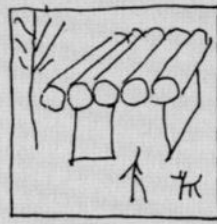
o para hacerlo más atractivo.



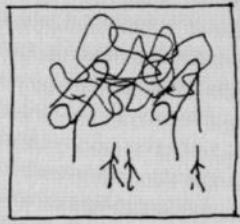
El cartón nos permite construir tubos de cualquier longitud,



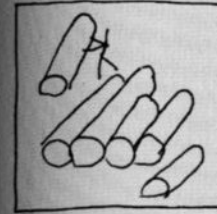
simplemente enrollando el cartón en diagonal.



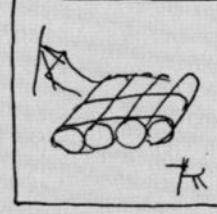
Estos tubos se pueden agrupar para formar un forjado de cubierta



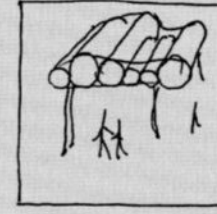
o pueden actuar como cerchas para cubierta ligeras.



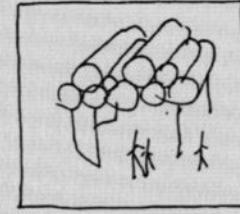
Los forjados de tubo son fáciles de montar



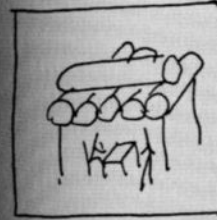
envolviéndolos con láminas de plástico para impermeabilizarlos.



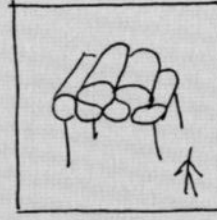
No es necesario que el diámetro y la longitud de todos los tubos coincidan.



Los tubos pueden disponerse también en capas.



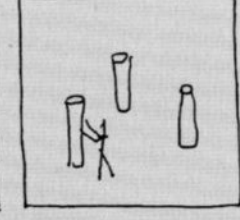
El forjado puede reforzarse mediante una capa tubular transversal.



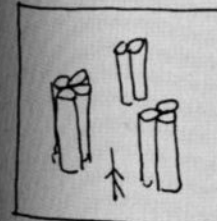
Las cubiertas tubulares son un tipo de estructura laminar.



Así, los tubos no son necesariamente circulares, pero sí de sección laminar.



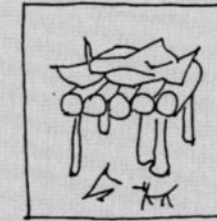
También pueden disponerse como pilares.



Un haz de tubos



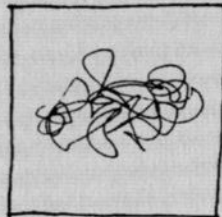
o un tubo laminar se comportan perfectamente como pilares.



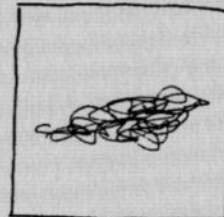
Las estructuras tubulares se pueden combinar con otras estructuras irregulares



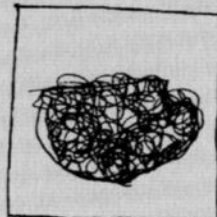
para completar la "familia".



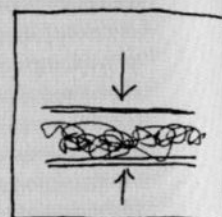
Un tipo especial de "gribouillis"



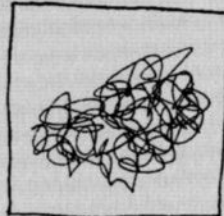
es lo que denomino "fieltro metálico".



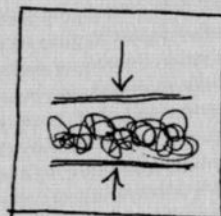
El fieltro es un tipo de tejido



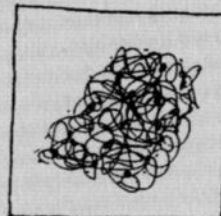
que se puede obtener comprimiendo lana entrelazada.



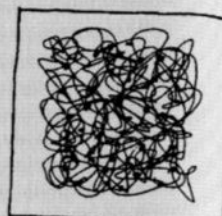
Dado que el "gribouillis" no es más que alambre entrelazado,



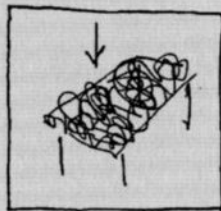
puedes comprimir esa maraña hasta obtener una lámina.



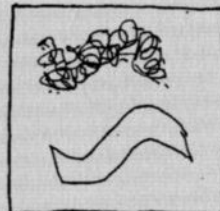
Deberías unir el alambre entrelazado en numerosos puntos.



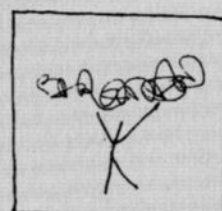
El resultado será una malla irregular.



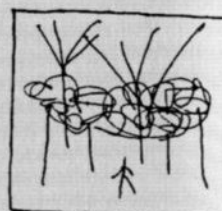
Este fieltro metálico será plano y muy resistente.



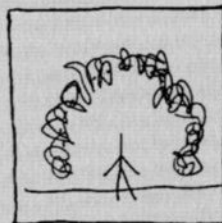
Puedes utilizarlo como una chapa metálica cualquiera: doblarla, abombarla, etc.



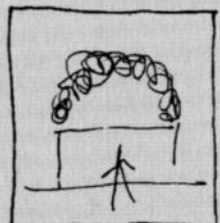
Tiene la ventaja de ser ligera y rígida



y también transparente.



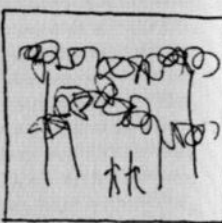
Construir un caparazón de cualquier geometría



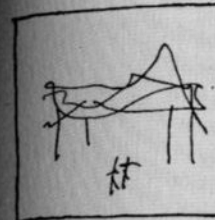
o una bóveda



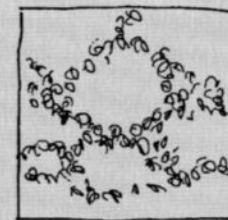
con fieltro metálico no tiene ninguna dificultad



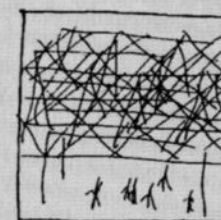
y, sin duda, el resultado es precioso.



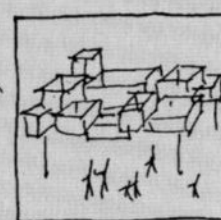
Puedes considerar toda estructura irregular



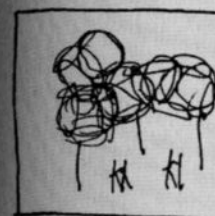
como una ampliación de la organización molecular de la materia.



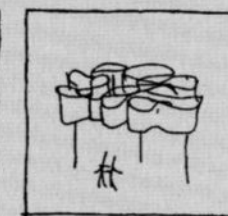
Puede ser cristalina como el armazón de la ciudad espacial



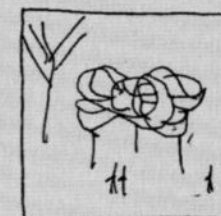
o la agrupación de cajas de zapatos



o, incluso, cadenas espaciales proteicas.



Puede ser fibrosa como las estructuras laminares



o como las moebianas,



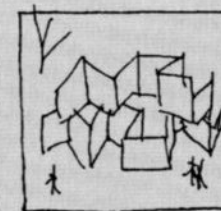
semicristalina como las estructuras de tensegridad irregular



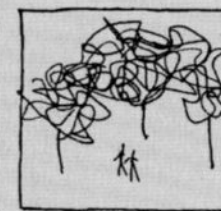
o pseudo-tensegridad.



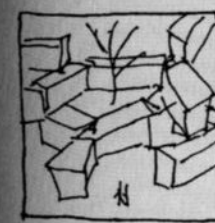
Las Merzstrukturen también son cristalinas



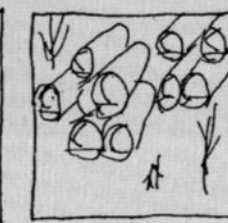
y también lo son las cadenas de paneles.



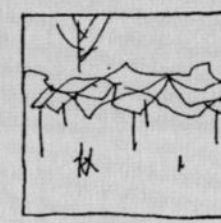
Los "gribouillis" son totalmente amorfos



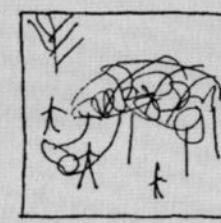
y los "trenes" son como fibras vegetales.



Las estructuras cilíndricas y tubulares también son de tipo fibrilar



mientras que las hojas arrugadas



y los "embalajes" siguen modelos de los seres vivos.