

Tectónica de enjambres

Manifiesto en favor de una arquitectura emergente

No puede ser una coincidencia que en la actualidad comentaristas de un variado número de disciplinas observen modelos biológicos para comprender estructuras de comportamiento. Tanto desde la línea más dura del campo de la investigación científica, hasta el de la investigación filosófica, se está descubriendo que un ensamblaje constructivo siguiendo modelos biológicos aporta nuevas percepciones sobre los fenómenos naturales. Es como si incluso la estructura del universo mismo y su continua expansión no pudiera ser entendida utilizando modelos teóricos estáticos, sino que necesitan ser expuestas en modelos más dinámicos de conducta. Y son precisamente los estudios sobre las fuerzas vivas en la naturaleza -desde la organización celular hasta la conducta en enjambre y rebaño de insectos, plantas y animales- los que los que están abriendo vías de comprensión con respecto a cómo se comportan los seres humanos. Tal y como hemos visto a la bioquímica emerger de la química, y la biotecnología de la tecnología, del mismo modo estamos empezando a ver una forma de biofilosofía que va tomando puestos en los debates filosóficos^[1].

En líneas generales, una gran proporción del pensamiento más reciente referido a la ciencia ha procurado superar la concepción de la naturaleza como algo gobernado por reglas cerradas y estáticas para entender que casi todo opera dentro de un sistema abierto y dinámico. El Instituto Santa Fe de Nuevo Méjico ha actuado como catalizador de gran parte del pensamiento innovador en este campo. Trabajando dentro de un marco interdisciplinar, los investigadores han observado los sistemas autoorganizados de la naturaleza como modelos para comprender otras estructuras de comportamiento. Es precisamente a través del estudio de operaciones en red de colonias de hormigas, por ejemplo, que podemos llegar a comprender las complejas interacciones del comportamiento de grupo, que se bastan tanto en la respuesta individual a la lógica de la masa o el enjambamiento, como en cualquier iniciativa independiente. Además, a través de éstas podemos observar la naturaleza compleja de cualquier vida cultural, extendiéndose hasta

sistemas sociales, políticos e incluso económicos, como argumenta Kevin Kelly^[2].

Gran parte del trabajo realizado en Santa Fe se ha basado en estudios tempranos de teoría de la complejidad realizados por Mitchell Waldrop y otros^[3]. La teoría de la complejidad pretende comprender los procesos por los que se generan modelos complejos de comportamiento en la naturaleza. El proyecto es, de algún modo, paradójico, ya que en lugar de aceptar la complejidad insondable del universo, persigue detectar los principios estructurales específicos que han creado esa aparente complejidad. En otras palabras, pretende demostrar que la complejidad no es tan compleja, sino procedente de principios claros.

La inminente necesidad de simbolizar, ordenar y clarificar dentro de grados de complejidad se encuentra no sólo en el centro del comportamiento animal, sino en el de todas las operaciones. Los fenómenos de casi cualquier campo tienden a auto-organizarse y disponerse en algún tipo de sistema. Esto ha llevado a los investigadores de Santa Fe a desarrollar un interés en los sistemas auto-organizados. Estos son sistemas que se desarrollaron en un primer lugar en los campos de la física y la química para describir la "emergencia de modelos macroscópicos de procesos e interacciones definidas a nivel microscópico"; pero se pueden extender a insectos sociales para demostrar que "el complejo comportamiento colectivo puede emerger de interacciones entre individuales que muestran un comportamiento simple"^[4].

Además, el modelo puede también extenderse a las operaciones informáticas. Eric Bonabeau, Marco Dorigo, Guy Theraulaz y otros, han investigado realizando comparaciones entre el comportamiento de la hormiga y los programas de ordenador, y reconocen que ambos fenómenos dependen de fuerzas vectoriales interactivas que operan en una red y no en solitario^[5]. Este pensamiento mira hacia "la inteligencia en enjambre" - "la emergente inteligencia colectiva de grupos de agentes simples"^[6]. Tampoco se limita esto a la vida de los insectos. Lo que es sorprendente es que

dentro de cualquier población -independiente de la variedad de su naturaleza- parece que emergen determinadas estructuras comunes de operaciones. Como señala DeLanda: "La dinámica de desplazamiento de poblaciones está muy relacionada con la dinámica de poblaciones de entidades muy diferentes tales como moléculas en una reacción química rítmica, termitas en una colonia de anidación y quizás incluso agentes humanos en un mercado. En otras palabras, a pesar de la gran diferencia en la naturaleza y comportamiento de los componentes, una población determinada de entidades en interacción tenderá a mostrar un comportamiento colectivo similar"^[7].

Se puede observar como funciona la inteligencia de enjambre en una bandada de pájaros. La bandada vira, desciende en picado, remonta el vuelo con movimiento bastante uniforme -uniforme en el sentido de que cada pájaro se somete más o menos a la estructura general del grupo. El pensamiento convencional podría considerar que hay un líder en la bandada -un pájaro que de manera individual toma control de los movimientos de los otros. De hecho, lo que ocurre es que cada pájaro responde individualmente a aquellos que se encuentran a su alrededor, obedeciendo a simples órdenes tales como "sigue al pájaro de delante" o "mantente a cierta distancia del pájaro de la derecha", etc. La red que resulta de estas respuestas individuales sigue la lógica del comportamiento de enjambre, que no sólo es la suma de respuestas individuales, sino que también -en algunos sentidos- va más allá.

Estos investigadores señalan que en una sociedad de creciente complejidad y exceso de información se necesita ofrecer "un modo alternativo de diseñar sistemas inteligentes en los que la autonomía y la distribución del funcionamiento substituyan al control, la pre-programación y la centralización"^[8]. De este modo, las operaciones que las hormigas realizan al construir sus nidos pueden considerarse como una forma de *stigmergy* -interacción directa o indirecta entre hormigas- que es la base de la auto-organización. Y es esta gran efectividad de las hormigas -criaturas con habilidades cognitivas relativamente li-



mitadas, pero con una avanzada capacidad para la coordinación social- la que ilustra el extraordinario potencial de la lógica de enjambre como un medio para tratar problemas sociales.

Estas ideas se integran colectivamente bajo el título de emergencia, un término popularizado para describir un determinado desarrollo en explicaciones científicas del universo, pero que se extiende a todos los aspectos de la vida social. Representa un cambio en la comprensión. En lugar de principios que parten de arriba hacia abajo, se comienza por normas a bajo nivel con tendencia a una sofisticación a alto nivel: un tipo de desarrollo de abajo a arriba de sistemas adaptables y complejos que se auto-regulan. Tiene en cuenta pautas de comportamiento, pero no aquellas congeladas en una sola expresión, sino aquellas que se establecen en la adaptación dinámica. Los sistemas emergentes están en continuo cambio y se basan en la interacción, en los circuitos cerrados de retroalimentación de información, el reconocimiento de modelos y el control indirecto. Desafían el concepto tradicional de sistemas como mecanismos predeterminados de control y en su lugar se centran en su capacidad de adaptarse y auto-regularse.

Ciudades emergentes

Existe un evidente paralelismo entre la capacidad auto-organizadora de colonias de hormigas o termitas y los modelos naturales de crecimiento de las ciudades humanas. De hecho, algunos de los primeros estudios del Instituto Santa Fe se basaban en observaciones de Jane Jacobs en su

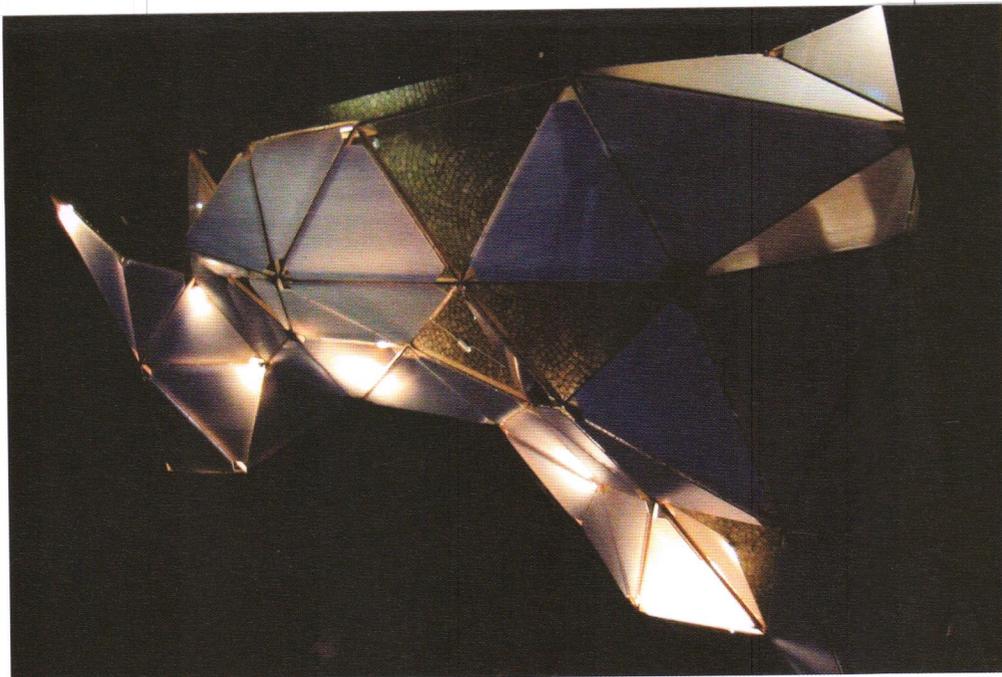
libro *The Death and Life of the Great American Cities*^[9]. Jacobs, en un polémico ataque a la demolición y reconstrucción urbana a gran escala reconoce la compleja coreografía de la vida en la ciudad^[10].

Pero ahora hay una segunda generación con figuras como DeLanda o Steven Johnson que han tomado, desarrollado y extendido estas ideas hacia un análisis de las estructuras de nuestras ciudades^[11]. De este modo las ciudades deben ser entendidas como amalgamas de procesos, como espacios de corrientes vectoriales que se ajustan a diferentes aportes e impulsos, como un sistema que se auto-regula. John Holland las resume de esta manera: "Las ciudades no tienen comisiones de planificación centrales que resuelvan el problema de comprar y distribuir los suministros... ¿Cómo pueden estas ciudades evitar las devastadoras oscilaciones de la escasez a la superabundancia, año tras año, década tras década? El misterio es aún mayor cuando observamos la naturaleza caleidoscópica de las grandes ciudades. Compradores, vendedores, instituciones administrativas, calles, puentes y edificios están siempre cambiando, de manera que la coherencia de una ciudad viene impuesta de algún modo, por el continuo flujo de personas y estructuras. La ciudad es una estructura en el tiempo similar a una ola permanentemente frente a una roca en un arroyo de aguas turbulentas"^[12].

Las ciudades son rasgos físicos de pautas de comportamiento social que operan a lo largo del tiempo. Siendo así, siempre debemos cuestionar la necesidad de planos maestros, o al menos re-

conocer el potencial de su autoridad en lo que respecta a interferencias a nivel de calle que se desarrollan de abajo hacia arriba. Además se gobiernan por principios de auto-organización. Como muestra Rem Koolhaas en su estudio sobre Lagos, el caos aparente de la vida en la ciudad puede entenderse como un enormemente sofisticado sistema auto-organizativo que selecciona, ordena, categoriza y recicla de acuerdo a principios económicos bastante claros. De hecho, buscando el modelo más exacto de un sistema urbano auto-organizativo, quizás podríamos ir más allá de Lagos y mirar hacia una ciudad como Hong Kong, que está completamente encajada en un marco capitalista, y no está constreñida por fuertes ataduras históricas. Hong Kong, con su jungla de interacciones sociales, puede entenderse no como una colección caótica de actividades diversas, sino como una enorme y sofisticada conexión de microsistemas interdependientes que operan dentro de una inteligencia de enjambre general.

Esta línea de pensamiento se acerca a la visión de ciudad ofrecida por Deleuze y Guattari. Según ellos, la ciudad se convierte en un complejo *machinic phylum* que se ajusta, se auto-regula y deviene el espacio mismo de la desterritorialización. La ciudad como espacio abierto de redes y flujos puede por lo tanto contrastarse con el Estado, que sería el espacio estriado de jerarquías y orden; es decir, el Estado pretende imponer una forma determinada en todo. Por otro lado, la ciudad es predominantemente el resultado de un proceso -es una formación.



Arquitectura Emergente

El libro de DeLanda *Cien años de historia no lineal* es sin lugar a dudas una reescritura del desarrollo urbanístico del siglo pasado según un marco general *deleuziano*. Es un punto de vista que se centra en el proceso más que en la representación, en la formación más que en la forma. Esta visión podría aplicarse igualmente a nivel arquitectónico. De hecho uno podría imaginar un libro paralelo al de DeLanda que intentase describir la historia de los últimos mil años de arquitectura basándose en principios similares.

La clave para esta visión ya se puede encontrar en las breves referencias a la arquitectura de Deleuze y Guattari. Es como si la historia completa de la arquitectura pudiera ser dividida en dos perspectivas opuestas, aunque a la vez, dialécticamente relacionadas. Una sería, en líneas generales, una perspectiva estética que intenta imponer la forma a los materiales de construcción de acuerdo a una plantilla predeterminada (y aquí uno inmediatamente piensa en el papel de las proporciones y de otros sistemas de ordenación visual). La otra sería una perspectiva meramente estructural que tendería a permitir la emergencia de formas de acuerdo a ciertos requerimientos programáticos.

Deleuze y Guattari denominan a la primera tendencia Románico. El término parece ser algo restrictivo, ya que el principio abarca una variedad de visiones que generalmente se incluyen dentro de lo clásico. No incluiría tan sólo lo clásico como tal -los estilos romano y griego que mutaron a lo largo de sucesivas generaciones pasando por el Románico y llegando al Renacimiento, Manierismo, Barroco y Neoclásico- sino también cualquier perspectiva que valore la apariencia por encima de la ejecución. En este sentido, el Neo-

gótico casi podría incluirse en este grupo, e incluso también la arquitectura Moderna y la Postmoderna, y hasta el trabajo excesivamente formal y escenográfico de arquitectos como Frank Gehry. La segunda tendencia se podría definir en líneas generales como el Gótico, que no se configura como un estilo, ya que tiene lugar en el siglo diecinueve, sino como un método. La arquitectura se convierte en el resultado de fuerzas en competencia. Es una arquitectura programática que registra los impulsos del asentamiento humano, y se adapta a esos impulsos. Deleuze y Guattari definen la diferencia entre el espíritu Gótico y el Románico como una diferencia cualitativa entre dos modelos para entender la arquitectura, uno estático y otro dinámico^[13].

La forma emergente se desarrolla a lo largo del tiempo, tal y como la bóveda gótica se desarrolló, volviéndose incluso más refinada en su eficiencia estructural hasta que alcanzó su gloriosa culminación en la bóveda de abanico del estilo perpendicular inglés. La tarea de los diseñadores sería entonces la de acelerar este proceso e imaginar como las formas se habrían desarrollado para ser totalmente adaptadas a sus modelos de colonización. Así pues, es una arquitectura de tiempo futuro perfecto que intenta predecir a través de análisis exhaustivos las actividades que habrán tenido lugar, para así facilitar esos procesos, favoreciendo conexiones, etc. En su forma más avanzada, sería una arquitectura abierta a esos procesos, un medio adaptable y receptivo que no cristalizó en una única forma inflexible, sino que fue capaz de reconfigurarse a lo largo del tiempo y ajustarse a las múltiples permutaciones de uso programático que podrían esperarse de ella.

En lugar de describir estas dos diferentes pers-

pectivas en términos de estilo, Deleuze y Guattari se refieren a ellas como diferentes ciencias. Una es una ciencia de razonamiento intensivo que pretende entender el mundo en términos de fuerzas, flujos y procesos. La otra es una ciencia de pensamiento extensivo que pretende entender el mundo en términos de leyes, fijeza y representación. En otras palabras, una es una ciencia lisa y la otra es estriada. Deleuze y Guattari también las describen como una oposición entre una ciencia de máquinas de guerra nómadas y una ciencia real [ref. a la realeza/rey] y estatal. Esta última es una ciencia de reglas fijas y formas dadas, un sistema jerárquico impuesto desde arriba. Por el contrario, la ciencia de máquinas de guerra nómadas es un modelo de abajo a arriba que responde en cada caso individual a las particularidades del momento.

Existe una genealogía para esta perspectiva gótica. Se articula claramente dentro de la tradición gótica, pero también dentro de ciertas aproximaciones a las estructuras, tales como puentes. Sin embargo, el principio de diseñar de acuerdo a la eficiencia y al uso mínimo de materiales se encuentra detrás de toda buena práctica de ingeniería. Más recientemente, se pueden encontrar determinadas encarnaciones de esta ciencia gótica en el trabajo de Antonio Gaudí a principios del siglo veinte, y en el de Frei Otto a finales del mismo. A principios del siglo veintiuno, se pueden reconocer trazos de una rearticulación de este espíritu en el trabajo de arquitectos como Reiser y Umemoto, Mark Burry, Mark Goulthorpe, Lars Spuybroek y UN Studio. El trabajo de este grupo comparte un mismo fin: un compromiso comprensivo con los principios de la ingeniería estructural que incluye los asuntos estructurales no como una reflexión práctica, sino como un componente vital incluido en el proceso conceptual de diseño al completo. Este trabajo ha sido denominado como "praxis post-Gaudiana". Es importante el hecho de que se apoya en gran medida en la metodología computacional.

Tectónica Digital

Pero, ¿cómo podría facilitar el dominio digital estas operaciones? A primera vista hay poco como para sugerir que la cuestión de la estructura y la estructuración tengan mucho que ver con las operaciones de los ordenadores, ya que aquella pertenece indudablemente al dominio material, y estas últimas al inmaterial. Sin embargo, una vez reinterpretamos el ordenador no como una máquina nómada, sino como una población de

menores componentes nómadas que operan dentro de la lógica de la inteligencia de enjambre, la posibilidad se vuelve más evidente. Podemos reconocer que las estructuras operan de una manera altamente compleja. Las estructuras, nunca tan diferenciadas y auto-contenidas como parecen a primera vista, operan paraméricamente como sistemas auto-organizados. Sería mejor pensar en sus operaciones en términos de redes o incluso mallas.

La investigación ya ha demostrado las conexiones entre el comportamiento de las hormigas, la red de ordenadores y las formas estructurales, y este principio ha sido corroborado aún más por programas diseñados para comprender el comportamiento estructural^[14]. Durante algún tiempo arquitectos e ingenieros han usado los programas de ordenador para probar la estabilidad estructural de sus diseños. Pero ahora los programas se desarrollan para generar novedosas formas estructurales. Éstas van más allá del sofisticadísimo uso de algoritmos genéticos, hacia la producción de formas que tengan su propia integridad estructural.

Un ejemplo de ello es el programa eiForm diseñado por Kristina Shea^[15]. El diseñador meramente establece determinadas coordenadas definitorias y luego descarga el programa, que finalmente cristaliza y se realiza en una configuración específica. Cada configuración es una forma estructural que soportará la gravedad y otras cargas prescritas, siendo cada configuración que

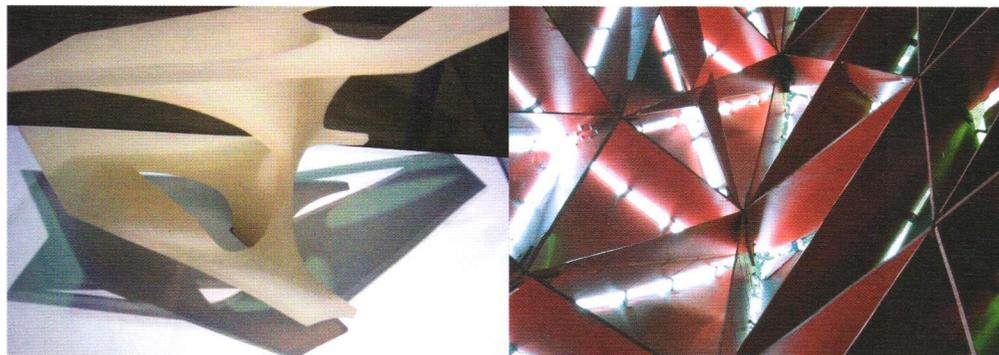
sale del programa diferente.

Pero las posibilidades van más allá. Lo que descubrimos con tales programas es el potencial de ver la operación de diseño completa como un proceso. Lo que puede aplicarse a la estructura, también podría aplicarse a otros aspectos del proceso de construcción - asuntos acústicos o medioambientales, temas relacionados con la construcción o la programación. El ordenador nos ofrece una máquina eficiente de búsqueda basada en la noción de eficiencia. Así pues, el potencial real de tales operaciones no es como el de un juguete del rico oeste en manos de un indulgente diseñador, sino más bien como una herramienta social que optimiza los recursos en las regiones menos privilegiadas del mundo.

Pero esto también tiene un impacto significativo en la misma naturaleza del diseño. El ordenador está siendo utilizado no como una herramienta

de representación, sino como un instrumento generativo que es parte del proceso de diseño en sí mismo. En otras palabras, el ordenador ha redefinido el papel del arquitecto, que ya no es el demiúrgico creador de formas de antaño. El arquitecto ha sido redefinido como el controlador de procesos que contempla la formación de la arquitectura. Con el desarrollo de nuevas técnicas computacionales nos encontramos en el umbral de un nuevo paradigma para la arquitectura -un paradigma en el que la tectónica de enjambre juega un papel crucial ■

Traducción: Paloma González de Canales
Ilustraciones: Primera maqueta a escala real generada por el programa eiForm, que fue construida en la Academia van Bouwkunst, Ámsterdam, en Junio de 2002, con listones de madera unidos por tornillos de acero. La estructura está revestida de paneles plásticos diseñados por Rodeca Systems, que esponsorizó el proyecto.
Fue diseñada por Kristina Shea, Spela Videcnik, Jeroen van Mechelen, Neil Leach y construida por estudiantes de la Academia van Bouwkunst, el Instituto Dessau de Arquitectura y la Universidad de Bath.



- 1 Keith Ansell Pearson, *Germinal Life*, Routledge, Londres 1997
- 2 Kevin Kelly, *Out of Control*, Perseus Books, MA, Cambridge 1994; *New Rules for the New Economy*, Fourth Estate, Londres, 1998
- 3 Mitchell Waldrop, *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Simon and Schuster, Nueva York 1992; John Holland, *Emergence: From Chaos to Order*, Oxford University Press, Oxford 1998
- 4 Eric Bonabeau, Marco Dorigo y Guy Theraulaz, *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, Nueva York 1999, pag.6
- 5 Eric Bonabeau, Marco Dorigo y Guy Theraulaz, opus cit., ver también James Kennedy, *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann, Nueva York 2001; Mitchel Resnick, *Turtles, Termites and Traffic Jams*, MIT Press, Ma, Cambridge 1994
- 6 Eric Bonabeau, Marco Dorigo y Guy Theraulaz, opus cit., pag.11.
- 7 Manuel DeLanda, *Material Complexity*, extraído de la conferencia titulada "Digital Tectonics", Universidad de Bath, Marzo de 2002
- 8 Eric Bonabeau, Marco Dorigo y Guy Theraulaz, opus

- cit., pag.11
- 9 Jane Jacobs, *The Death and Life of the Great American Cities*, Vintage, Nueva York 1961
- 10 "Bajo el aparente desorden de la ciudad tradicional (que funciona con éxito) existe un maravilloso orden que mantiene la seguridad en las calles y la libertad en la ciudad. Es un orden complejo. Su esencia es la intimidad en el uso de las aceras junto a una constante sucesión de miradas. Este orden está compuesto de movimiento y cambio, y, aunque es vida y no arte, podemos llamarlo libremente la forma artística de la ciudad y asimilarlo a la danza - no una danza ingenua y precisa con todo el mundo moviendo las piernas a la vez, girando al unísono e inclinándose en masa; sino un ballet complicado en el que cada bailarín y su pareja tienen partes diferentes que milagrosamente se refuerzan unas a otras y que se organizan en un todo ordenado." Ibid., según aparece citado en Steve Jonson, *Emergence: The Connected Lives of Ants, Brains, Cities and Software*, Penguin, Londres 2001
- 11 Manuel DeLanda, *A thousand Years of Nonlinear History*, Swerve Editions, Zone Books, Nueva York 1997; Steve Jonson, *Emergence: The Connected Lives of*

- Ants, Brains, Cities and Software*, Penguin, Londres 2001.
- 12 John Holland, según aparece citado en Steve Johnson, opus cit., pag.27.
- 13 Gilles Deleuze y Félix Guattari, *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*, trad. Brian Massumi, University of Minnesota Press, Minneapolis 1987, pag. 364 y 365.
- 14 Ver Bonabeau, Dorigo y Theraulaz, opus cit., capítulo 6, *Nest-Building and Self-Assembling*, pags. 205-251.
- 15 *Stochastic* - que contiene un elemento aleatorio respecto al proceso de búsqueda que es controlado para permitir la exploración de conceptos que son inicialmente peores que el diseño habitual.
Non-monotonic - que está constantemente en revisión a menudo negando desarrollos anteriores.
Annealing - se refiere al método para calentar y enfriar metales. El programa eiForm simula este proceso de manera que la forma final cristaliza.
Para profundizar en el programa eiForm ver Kristina Shea, "Creating Synthesis Partners", en *Architectural Design* nº72, pags. 42-45