

Arquitectura de avispas alfareras en Chile y su potencial para el biodiseño

Potter Wasp Architecture in Chile and its Potential for Biodesign

POR / BY ALEJANDRO SOFFIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UNIVERSIDAD DE CHILE
SCHOOL OF ARCHITECTURE AND URBANISM, UNIVERSITY OF CHILE

IMÁGENES _ IMAGES

VERÓNICA ARCOS, HERNÁN BECERRA, JOSÉ LUIS INOSTROZA, RICARDO HUENUANCA,
ANDRÉS LABRA, LUIS FELIPE MARTÍNEZ, ALEJANDRO SOFFIA, ÁNGEL TAPIA

EL BIODISEÑO ES EL CONJUNTO DE NICHOS DE COLABORACIÓN QUE REÚNE LA BIOLOGÍA CON EL DISEÑO. UNO DE ESTOS NICHOS ES LA ARQUITECTURA ANIMAL, QUE NOS PRESENTA UN MUNDO DE FORMAS POSIBLES DE ESTUDIAR DESDE UN PUNTO DE VISTA CONSTRUCTIVO Y ESPACIAL. EN CHILE DESTACAN LOS NIDOS DE AVISPAS "ALFARERAS", QUE CONSTRUYEN UN CONJUNTO DE CELDAS CON BARRO. HOY EN DÍA ES POSIBLE CONOCER SU GEOMETRÍA, ORGANIZACIÓN INTERNA Y DOSIFICACIONES MATERIALES A TRAVÉS DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTADA. ESTE ARTÍCULO ESBOZA POSIBLES TRANSFERENCIAS DE FORMAS Y DESEMPEÑOS DE ESTOS NIDOS PARA EL DESARROLLO DE UNA ARQUITECTURA MÁS BENIGNA CON EL MEDIO AMBIENTE NATURAL.

BIODESIGN IS THE SET OF COLLABORATIVE AREAS THAT BRING TOGETHER BIOLOGY AND DESIGN. ONE OF THESE IS ANIMAL ARCHITECTURE, WHICH PRESENTS A WORLD OF POSSIBLE FORMS TO STUDY FROM AN ARCHITECTURAL POINT OF VIEW. IN CHILE, THE NESTS OF "POTTER" WASPS, WHICH BUILD A SET OF CELLS WITH MUD, ARE PARTICULARLY NOTEWORTHY. TODAY, IT IS POSSIBLE TO LEARN ABOUT THEIR GEOMETRY, INTERNAL ORGANISATION, AND MATERIAL DOSAGES THROUGH COMPUTED TOMOGRAPHY. THIS ARTICLE OUTLINES POSSIBLE TRANSFERS OF FORMS AND PERFORMANCES OF THESE NESTS TO DEVELOP A MORE BENIGN ARCHITECTURE WITH THE NATURAL ENVIRONMENT.



Catálogo de nidos de avispas alfareras que habitan en Chile.

Fotografía: José Luis Inostroza.

Chilean potter wasps nests catalogue.

Photo: José Luis Inostroza.

¿BIO QUÉ?

El área de intersección entre las disciplinas de la biología y el diseño puede llevar el nombre de “biodiseño” (Figura 1). Se trata de un término compacto, ambiguo y sugerente, además, porque si partiéramos al revés, no podríamos sintetizar lo que queremos decir en una sola palabra y, por otra parte, delimitaría innecesariamente sus posibilidades. Biodiseño también es el nombre del primer libro que reúne obras de arquitectura, diseño industrial y arte que integran sistemas vivos (Myers, 2012). Este suceso interdisciplinar detona una serie de nichos de colaboración que se presentan como una gran oportunidad para el futuro del diseño. Por último, en la relación de ambas disciplinas, cada una se constituye como un polo opuesto; por lo tanto, algunos de estos nichos resultan más cercanos a una disciplina que a la otra, estableciéndose jerarquías conceptuales durante la experiencia interdisciplinar.

La biomimesis o biomimética es de estos nichos de colaboración, donde la biología se transforma en una fuente de soluciones para mejorar el impacto de la producción humana en el medio ambiente natural (Benyus, 1991). En biomimética lo que se observa de la naturaleza son tanto las morfologías de los organismos vivos como sus comportamientos. La hipótesis consiste en que hay problemas o necesidades humanas que en la naturaleza se resuelven de manera más eficiente, con menor consumo energético, mejor gestión de los recursos o menor contaminación. A veces en la naturaleza podemos darnos cuenta de algo porque sucede en ella, lo vemos, se

explicita. Y en otro sentido, en ocasiones uno puede indagar sobre ciertos problemas humanos hasta encontrar una solución ya presente en la morfología o en el comportamiento de algún organismo vivo. Por lo tanto, si somos capaces de transferir aquellas formas o funciones de la biología al mundo del diseño, lograremos disminuir el impacto medioambiental de nuestras disciplinas creativas. No se trata de una creencia o un problema de fe; de hecho, los productos de la biomimética requieren de un método complejo que involucra ciencia básica, ingeniería, diseño, tecnologías y, finalmente, una comercialización que garantice la multiplicación de estos beneficios.

ENTOMIMÉTICA O LOS INSECTOS COMO FUENTE DE SOLUCIONES MEDIOAMBIENTALMENTE BENIGNAS

Biomimética es un concepto asociado a los organismos vivos en general, es decir, tanto a plantas como animales u hongos. Pero la biología es una disciplina que posee subcategorías según la sistemática¹. Así, por ejemplo, está la botánica que estudia las plantas, la ornitología que estudia las aves, o la entomología² que estudia los insectos. La importancia de estas categorías para la biomimética radica en que cada uno de estos grupos se define gracias a sus características morfológicas y, a su vez, estas características morfológicas derivan de la relación de este grupo de organismos con el medio ambiente, es decir, la variación de la forma de los insectos depende de su relación con el medio donde viven. En este contexto, los insectos generan, además, un interés

BIO WHAT?

The area of intersection between the disciplines of biology and design can be called “biodesign” (Figure 1). Moreover, it is a compact, ambiguous, and suggestive term because if we were to start backwards, we would be unable to synthesise what we mean in a single word and unnecessarily limit its possibilities. Biodesign is also the title of the first book, which combines works of architecture, industrial design, and art to integrate living systems (Myers, 2012). This interdisciplinary development triggers a series of collaborative niches that present an excellent opportunity for the future of design. Finally, in the relationship between the two disciplines, each is constituted as an opposite; therefore, some of these areas are closer to one discipline than the other, establishing conceptual hierarchies during the interdisciplinary experience.

Biomimicry or biomimetics is one of these collaborative areas and involves a relationship where design looks to biology for knowledge that might be useful. Thus, in this case, there is a conceptual hierarchy linked to design, where biology becomes a source of solutions to improve the impact of human production on the natural environment (Benyus, 1991). In biomimetics, what is observed in nature are both the morphologies of living organisms and

their behaviour. The hypothesis is that there are human problems or needs that are solved more efficiently in nature, with less energy consumption, better resource management or less pollution. Sometimes, in nature, we can become aware of something because it happens there; we see it, and it is made explicit. In other cases, sometimes we can investigate some human issues until we find a solution already present in the morphology or behaviour of a living organism. Therefore, if we can transfer those forms or functions of biology to the world of design, we can reduce the environmental impact of our creative disciplines. This is not a belief or a matter of faith; in fact, the products of biomimetics require a complex approach involving basic science, engineering, design, technologies and, finally, commercialisation to ensure the multiplication of these benefits.

ENTOMIMETICS OR INSECTS AS A SOURCE OF ENVIRONMENTALLY BENIGN SOLUTIONS

Biomimetics is a concept associated with living organisms, i.e. plants, animals and fungi. However, biology is a discipline that has subcategories according to systematics¹. Thus, for example, there is botany, which studies plants; ornithology, which studies birds; or entomology²,

¹ Área de la biología que se encarga de la clasificación de las especies de organismos vivos.
Area of biology that deals with the classification of species of living organisms.

² Del griego entomos, insecto, y logos, estudio.
From the Greek entomos, insect, and logos, study.

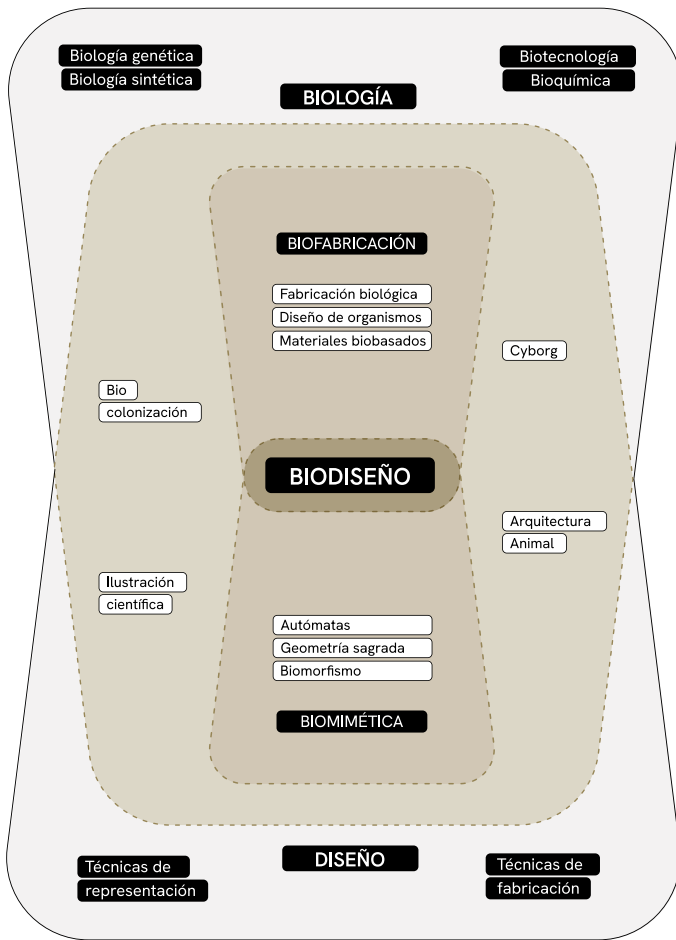


Fig. 1. Diagrama de los nichos de colaboración que surgen del cruce entre la biología y el diseño.

Fig. 1. Diagram of the collaboration niches that arise from the intersection of biology and design.



Fig. 2. Nido de avispa alfarera del Género *Hypodynerus*. Foto: Alejandro Soffia.

Fig. 2. Nest of a potter wasp of the Genus *Hypodynerus*. Photo: Alejandro Soffia.



Fig. 3. Avispa alfarera. Foto: Ricardo Huenuanca.

Fig. 3. Potter wasp. Photo: Ricardo Huenuanca.

particular para la biomimética, debido a que son el grupo de organismos vivos más diversos del planeta. Es decir, presentan un conjunto de formas y comportamientos sin igual, al menos desde el punto de vista cuantitativo. De hecho, los insectos constituyen aproximadamente el 75% de los animales del planeta, con alrededor de 1.000.000 de especies distintas descritas (Zhi-Qiang Zhang, 2011). De esta manera, vale la pena acuñar un concepto más específico que el de biomimética, que llamaremos entomimética, y que incluye toda transferencia de formas o funciones que deriven de la observación de los insectos o sus comportamientos (Soffia, 2011).

INSECTOS ARQUITECTOS

Arquitectura animal es otro de los nichos interdisciplinarios del biodiseño. A diferencia de la biomimética, que se sitúa más próxima al diseño, la arquitectura animal se trata de un nicho ubicado a similar distancia teórica entre la biología y el diseño (arquitectónico en este caso). Arquitectura animal se refiere a las construcciones realizadas por animales cuyo principal objetivo es alojarlos temporal o permanentemente (Von Frisch, 1974). La arquitectura animal implica, por lo tanto, el proceso de construcción de un espacio habitable, al igual como lo hacen los humanos. Este proceso sería ejecutado mediante distintas técnicas como la adición, el vaciado, entre otras. Así podemos recordar como grandes ejemplos de arquitectura animal los nidos de los pájaros, efectuados principalmente por técnicas de adición de elementos vegetales, o los nidos de roedores, efectuados principalmente

por técnicas de vaciado de tierra. Pero la arquitectura animal no solo puede tener una función de morada; hay otros tipos de construcciones que están destinadas a otros usos como la defensa o la alimentación, estructuras que se construyen para que algunas especies pasen desapercibidas, o estructuras que edifican para capturar presas para su alimentación.

Ahora, en específico, dentro del grupo de los insectos, los himenópteros (hormigas, abejas y avispas) definitivamente son el Orden³ con mayor variedad de arquitectura animal. Las hormigas (Familia *Formicidae*), gracias a ser organismo eusocial, viven en comunidad y sus construcciones u hormigueros tienen una función principalmente habitacional, es decir, permanecen en estas construcciones a lo largo de distintas generaciones, se reproducen y viven en su interior. Por lo tanto, se trata de estructuras grandes (proporcionales al tamaño de la especie) y complejas en su diseño. En Chile también es común que los hormigueros sean construidos en el suelo a partir de un proceso de vaciado, es decir, los espacios donde se desenvuelven se producen en la medida de que se excavan. Sin embargo, en algunos casos, los accesos cuentan con montículos de tierra suelta (no alomerada), construidos mediante adición en la forma de un cono truncado que queda sobre el nivel del terreno. Este montículo, a su vez, aloja en su interior un vacío en forma de cono invertido hacia el orificio de acceso del hormiguero.

Otro grupo de himenópteros constructores son las abejas (Familia *Apidae*), pero las abejas nativas de Chile

which studies insects. The importance of these categories for biomimetics lies in the fact that their morphological characteristics define each of these groups, and, in turn, these morphological characteristics derive from the relationship of this group of organisms with the environment, i.e. the variation in the shape of insects depends on their relationship with the environment in which they live. In this context, insects are also fascinating to biomimetics because they are the most diverse living organisms on the planet. In other words, they present an unparalleled set of forms and behaviours, at least from a quantitative point of view. Insects constitute approximately 75% of the animals on the planet, with 1,000,000 different species described (Zhi-Qiang Zhang, 2011). Thus, with all these qualities, it is worth coining a concept more specific than biomimetics, which we will call entomimetics. It includes any transfer of forms or functions derived from observing insects or their behaviours (Soffia, 2011).

ARCHITECT INSECTS

Animal architecture is another interdisciplinary area of biodesign. Unlike biomimetics, which is closer to design, animal architecture is a niche located at a similar theoretical distance between biology and design (architectural, in this case). Animal architecture refers to constructions

made by animals whose primary purpose is to house them temporarily or permanently (Von Frisch, 1974). Animal architecture, therefore, involves constructing a habitable space, just as humans do. This process would be carried out utilising techniques such as addition and hollowing out. Thus, we can remember great examples of animal architecture: birds' nests, made mainly by techniques of addition of vegetal elements, and rodents' nests, made primarily by techniques of emptying the earth. However, animal architecture may not only have a dwelling function; other constructions are intended for different uses such as defence or feeding, structures built for some species to go unnoticed, or structures built to capture prey for food. Within the insect group, the Hymenoptera (ants, bees, and wasps) are the Order³ with the most incredible variety of animal architecture. Thanks to being eusocial organisms, ants (Family *Formicidae*) live in a community, and their constructions or anthills have a mainly habitational function. They remain in these constructions throughout generations, reproduce, and live inside them. They are, therefore, large structures (proportional to the size of the species) and complex in their design. In Chile, it is common for anthills to be built in the ground through emptying, i.e. the spaces where they develop are produced as they are excavated. However, in some cases, the entrances

³ "Orden" es una categoría taxonómica que en los insectos está asociada principalmente a la forma de sus alas.

"Order" is a category of taxonomic classification mainly associated with the shape of insects' wings.

no son eusociales como las conocidas abejas de miel (*Apis mellifera*); por lo tanto, no construyen estructuras grandes y comunes como los conocidos panales de abeja. Sin embargo, varias especies de abejas nativas construyen nidos agrupados, es decir, son nidos individuales, pero que están unos cerca de otros.

Por lo tanto, sus espacios no están comunicados y no constituyen un conjunto arquitectónico. Las abejas nativas construyen nidos principalmente en tierra, mediante la técnica de vaciado. Existen, eso sí, algunas pocas especies que construyen nidos mediante procesos de adición, creando estructuras de forma tubular u ovoide. Pero en cualquier caso se trata de nidos individuales que no son ni grandes ni complejos en su forma.

Por último, el grupo de las avisvas es el más interesante desde el punto de vista del diseño de sus arquitecturas. Son varias las avisvas que construyen nidos con tierra. Con la técnica de vaciado, algunas familias de avisvas edifican celdas individuales para depositar generalmente un huevo sobre una presa inmovilizada. Esta última servirá de alimento una vez que haya eclosionado la larva desde el huevo. Son nidos que no se utilizan como morada sino para proteger el crecimiento de las nuevas generaciones. Ahora, con la técnica de adición, hay varias especies de avisvas que construyen nidos de barro acumulando tierra mezclada con saliva. Algunos de estos nidos son tan elaborados como una pieza de alfarería creada por el hombre; por lo tanto, se han ganado el nombre de *avisvas alfareras* (Figura 2). De ellas en Chile hay dos

Familias, *Vespidae* y *Sphecidae*, que incluyen 64 especies de avisvas alfareras, tanto nativas como introducidas. Dentro de ellas, la Subfamilia *Eumeninae* (Figura 3) es la más grande con un total descrito a la fecha de 55 especies de avisvas alfareras (Barrera-Medina et al., 2023). Sin embargo, del total de 64 avisvas alfareras, se ha investigado poco y con variable profundidad solo el 28% de estas construcciones. Destacan con ventaja los estudios realizados por Hyppolite Janvier⁴ entre los años 1914 y 1932 y que efectuó el más extenso estudio de nidos de barro de la Subfamilia *Eumeninae* en Chile. Del resto de las avisvas alfareras aún se sabe poco, y la identificación de tipo de nido por especie que lo construye es bastante baja aún. Es decir, ni siquiera se sabe mucho sobre qué tipo de nido realiza cada avispa alfarera.

ESPACIOS HABITABLES

Los nidos de las avisvas alfareras están dedicados exclusivamente para la crianza de su progenie. Por lo mismo, en cada celda la hembra deposita un solo huevo, y lo acompaña de presas paralizadas (no muertas) que conformarán el alimento de la larva una vez que emerja del huevo (Janvier, 1924). La paralización de las presas, gracias al veneno de la progenitora, garantiza alimento fresco para la larva, que las consume en las primeras semanas de vida. Luego la larva entra en estado de pupa y se va transformando lentamente en un adulto que, cuando ha eclosionado, rompe la celda para salir volando. Lo que queda del nido no volverá a utilizarse, salvo por

have mounds of loose earth (not loosely packed), built by addition as a truncated cone that remains above ground level. This mound, in turn, houses an inverted cone-shaped void in its interior towards the access hole of the anthill.

Other groups of hymenopterous builders are bees (family *Apidae*), but bees native to Chile are not eusocial like the well-known honeybees (*Apis mellifera*); therefore, they do not build large, common structures such as the well-known honeycombs. However, several species of native bees build clustered nests, i.e., individual nests close to each other.

Therefore, their spaces are not communicated and do not constitute an architectural ensemble. Native bees build nests mainly on land using the hollowing technique. However, a few species build nests by addition processes, creating tubular or oval structures. These are individual nests, neither prominent nor complex in shape.

Finally, the group of wasps is the most interesting from the point of view of their architectural design. Several wasps build nests out of the earth. Using the hollowing technique, several families of wasps build individual cells, usually to deposit an egg on immobilised prey. The latter will serve as food once the larva has hatched from the egg. These nests are not used for habitation but to protect the growth of new generations. With the addition technique, several species of wasps build mud nests by adding soil mixed with saliva.

Some of these nests are as elaborate as a piece of man-made pottery; hence, they have earned the name “potter wasps” (Figure 2). Of these, there are two Families in Chile, *Vespidae* and *Sphecidae*, which include 64 species of potter wasps, both native and introduced. Within these, the Subfamily *Eumeninae* (Figure 3) is the largest, with 55 potter wasp species described to date (Barrera-Medina et al., 2023). However, of the total of 64 potter wasps, only 28% of these constructions have been scarcely investigated and in varying depth. The studies carried out by Hyppolite Janvier between 1914 and 1932, who made the most extensive study of mud nests of the Subfamily *Eumeninae* in Chile, stand out. Little is known about the rest of the potter wasps, and the identification of nest type by nest-building species is still relatively low. That is, not even much is known about what kind of nest each potter wasp builds.

HABITABLE SPACES

The nests of potter wasps are dedicated exclusively to rearing their young. For this reason, in each cell, the female deposits a single egg accompanied by immobilised (un-dead) prey that will form the larva's food once it emerges from the egg (Janvier, 1924). Thanks to the parent's venom, the immobilisation of the prey guarantees fresh food for the larva, which consumes it in the first weeks of

⁴ Conocido también como el hermano Claude Joseph, entomólogo francés (1892-1986). French entomologist, known as Brother Claude Joseph (1892-1986).



Fig. 4. Nido de avispa *Hypodynerus chiliensis* sobre rama de naranjo.
Foto: José Luis Inostroza.

Fig. 4. Nest of the *Hypodynerus chiliensis* wasp on an orange tree branch. Photo: José Luis Inostroza.



Fig. 5. Secuencia de construcción de un nido de avispa alfarera.
Foto: Hernán Becerra.

Fig. 5. Construction sequence of a potter wasp nest.
Photo: Hernán Becerra.

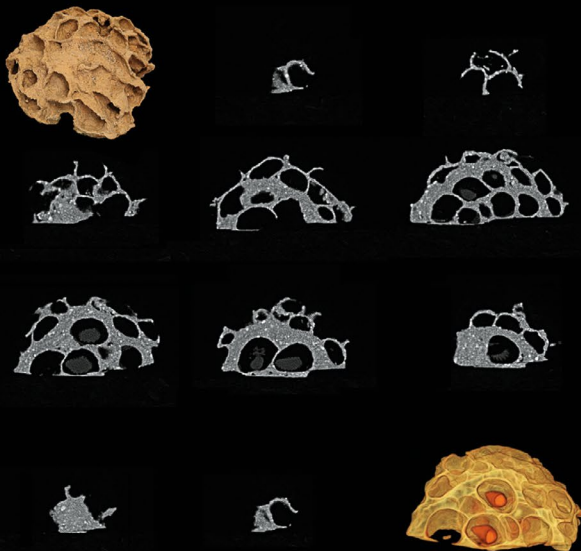


Fig. 6. Secuencia de cortes por TAC de un nido de la avispa *Hypodynerus lachesis*. Radiólogo Andrés Labra.

Fig. 6. CT scan sequence of a *Hypodynerus lachesis* wasp nest. Radiologist Andrés Labra.



Fig. 8. Prototipo de muro impreso digitalmente. Fondart: N° 602577.
Verónica Arcos y Alejandro Soffía.

Fig. 8. Digitally printed wall prototype.
Fondart: No. 602577. Verónica Arcos and Alejandro Soffía.

otros insectos u arácnidos a los que les siga siendo útil la construcción. Es necesario nombrar, en relación con esto, que algunas celdas del nido de una especie puedan ser utilizadas además, y al mismo tiempo, por otra especie, en un comportamiento que se inscribe dentro del concepto de cleptoparasitismo. Por ejemplo, se ha observado salir de las celdas de *Hypodynerus sp.*, avispas parásitas del género *Dotocryptus*, que devoran las larvas de la avispa constructora del respectivo nido.

Los nidos de barro de las avispas alfareras están constituidos por celdas individuales que varían en su número. Es posible encontrar celdas individuales y nidos compuestos por varias celdas. Desde el punto de vista formal y estructural, en Chile hay básicamente dos tipos de celdas. El primero corresponde a avispas principalmente nativas y las celdas tienen forma de cúpula o domo. Esta forma es muy eficiente en la relación masa/espacio cubierto, y en la relación forma/capacidad resistente. Algunas de estas celdas integran, además, la clásica forma con cuello angosto y boca ancha de donde deriva el apelativo de *alfarera*, por el parecido que tienen con contenedores de líquidos creados por el hombre. Estos nidos son característicos de especies de las Subfamilias *Eumeninae* y *Masarinae*, destacando los Géneros *Hypodynerus* (31 especies) y *Gayella* (5 especies), respectivamente. El segundo tipo de celdas es característico de las avispas del Género *Sceliphron*, que posee en Chile dos especies introducidas (*Sceliphron caemeterium* y *Sceliphron curvatum*) y una nativa (*Sceliphron asiaticum*). Estas avispas son cada vez

its life. The larva then pupates and slowly transforms into an adult, which, once hatched, breaks out of the cell and flies away. What remains of the nest will not be used again, except by other insects or arachnids for which the construction is still functional. In this connection, it should be noted that some cells of the nest of one species may also be used simultaneously by another species in behaviour that falls under the concept of kleptoparasitism. For example, parasitic wasps of the genus *Dotocryptus* have been observed leaving the *Hypodynerus sp.* cells and devouring the nest-building wasp's larvae.

Potter wasp mud nests comprise individual cells that vary in number. It is possible to find single cells and nests composed of several cells. From a formal and structural point of view, Chile has two cell types. The former corresponds mainly to native wasps; the cells are dome-shaped. This shape is very efficient regarding the mass/space covered ratio and the shape/resistance ratio. Some of these cells also integrate the classic narrow-necked, wide-mouthed shape, from which the nickname "potter" derives due to their resemblance to man-made liquid containers. These nests are characteristic of species of the Subfamilies *Eumeninae* and *Masarinae*, with the Genera *Hypodynerus* (31 species) and *Gayella* (5 species), respectively, standing out.

The second type of cell is characteristic of wasps of the Genus *Sceliphron*, which in Chile has two introduced species (*Sceliphron caemeterium* and *Sceliphron curvatum*) and

más frecuentes de observar en ambientes antrópicos y sus celdas se caracterizan por tener forma de tubo. Para una misma especie, estos tubos pueden integrar cuello y boca o, simplemente, contar con una boca y prescindir del cuello.

El proceso es lento, ya que la avispa primero recoge agua, luego busca tierra y arena. Después traslada la mezcla que alcanza a sujetar con sus mandíbulas, que no tienen un gran tamaño (como se podría esperar desde un punto de vista evolutivo). La tierra es mezclada con saliva de la avispa que actúa como aglomerante (Janvier, 1924). Cada celda va tomando forma lentamente mientras la mezcla más antigua se va secando. Hay estudios en otros nidos, con base en celulosa, que descubrieron que su forma está guiada por una acumulación de hormonas que vienen con la saliva. Es decir, cuando la avispa detecta una cierta cantidad de hormonas asociadas a un punto del nido, se da cuenta de que debe seguir construyendo en otra dirección y, finalmente, terminando la forma del nido (Theraulaz et al., 1987).

EMPLAZAMIENTO Y MATERIALIDAD

En ambientes naturales, los nidos pueden disponerse sobre rocas y en ramas de los árboles. Son soportes bien distintos porque los primeros son generalmente planos y, en el caso de una rama, el nido se fija envolviéndola (Figura 4).

También es común verlos en estructuras construidas por el hombre, muchas veces en muros de adobe

one native species (*Sceliphron asiaticum*). These wasps are increasingly common in anthropogenic environments, and their cells are characterised by their tube shape. For the same species, these tubes can integrate a neck and mouth or have a mouth and no neck.

In both cases, the nest is built by a single female, cell by cell. The process is slow, as the wasp collects water and then searches for soil and sand. She then carries the mixture that she manages to hold with her mandibles, which are smaller than one might expect from an evolutionary point of view. The soil is mixed with wasp saliva, which acts as a binding agent (Janvier, 1924). Each cell slowly takes shape as the older mixture dries out. Studies on cellulose-based nests have found that their shape is guided by an accumulation of hormones from the saliva. That is, when the wasp detects a certain number of hormones associated with one point of the nest, it realises that it must continue building in another direction and eventually complete the shape of the nest (Theraulaz, 1987).

LOCATION AND MATERIALITY

In natural environments, nests can be placed on rocks and tree branches. They are quite different because the former are generally flat and, in the case of a branch, the nest is fixed by wrapping around it (Figure 4).

It is expected to see them in man-made structures, often in adobe walls covered with lime stucco. This is particularly

revestidos con estuco de cal. Esto es particularmente interesante por la relación material entre estas arquitecturas realizadas por los insectos y las efectuadas por el hombre. Ambos construyen con tierra. También es interesante porque probablemente los estucos a la cal tienen una compatibilidad química con el material de los nidos que les asegura su fijación, es decir, que queden bien pegados y no se caigan. Además, no es poco común encontrarlos sobre estructuras de madera, perfiles de metal y telas como cortinas e incluso ropa. Así el conjunto de celdas generalmente toma una forma debido al soporte en el que se ubican. Esto es particularmente llamativo cuando este soporte es una estructura construida por el hombre, ya que la mezcla entre su geometría con el instinto natural produce formas inéditas y muy atractivas.

Al final del proceso, algunas avispas *maquillan* o camuflan el conjunto de celdas con capas de barro que desdibujan la forma de las celdas, eliminando cualquier patrón que delate su contenido. Sin embargo, este maquillaje no siempre se aplica dentro de una misma especie. Pareciera que este proceso de camuflaje se da más recurrentemente en ambientes más expuestos a los elementos del clima, a los depredadores o, eventualmente, por apuro (Figura 5).

GEOMETRÍA Y LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO

La forma final de los nidos deriva de asociaciones aparentemente aleatorias entre las celdas, pero generalmente terminan en volúmenes definidos por planos con una y dos curvaturas. A veces estos planos curvados son muy lisos y continuos, como es el caso de los nidos de *Hypodynerus chiliensis*. Otras veces el volumen tiene superficie con textura, dándole un aspecto más barroco, como es el caso de los nidos de *Hypodynerus lachesis*.

interesting because of the material relationship between these insect-made and man-made architectures. Both are built with earth.

It is also interesting because lime stuccos probably have chemical compatibility with the nesting material, ensuring that they stick well and do not fall out. In addition, it is not uncommon to find them on wooden structures, metal profiles and fabrics such as curtains and even clothing. The set of cells, therefore, generally takes shape due to the support on which they are placed. This is particularly striking when this support is a man-made structure, as they follow its geometry, and the mixture with the instinct produces unusual and beautiful shapes.

At the end of the process, some wasps “makeup” or “camouflage” the set of cells with layers of mud that blur the shape of the cells, eliminating any pattern that would give away their contents. However, this makeup is not always applied camouflage the set of cells with layers of mud that blur the shape of the cells, eliminating any pattern that would give away their contents. However, this makeup is not always applied within the same species. It seems that this camouflage process occurs more frequently in environments that are more exposed to the elements, to predators or, eventually, out of haste (Figure 5).

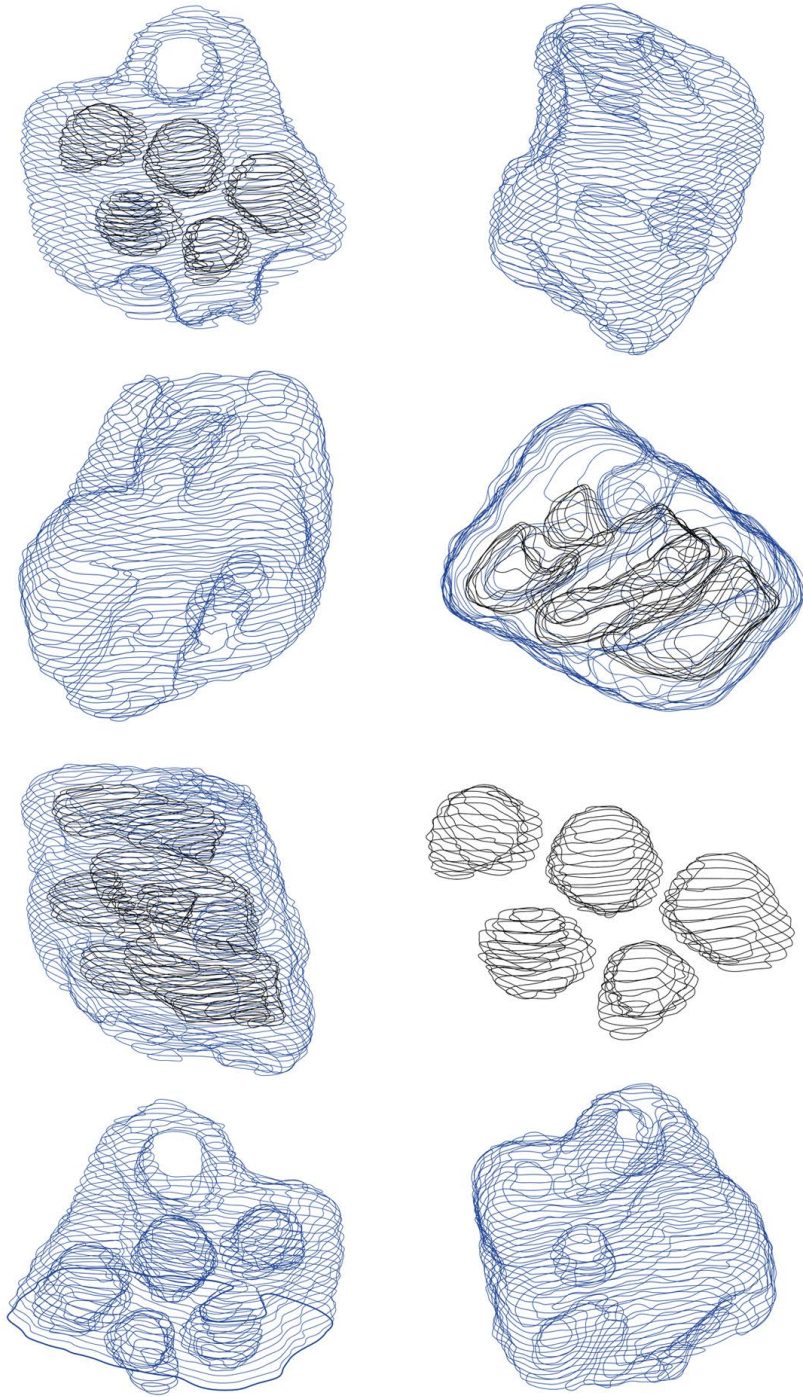
Estas superficies compuestas por planos de doble curvatura son difíciles de describir geoméricamente. Más difícil aún es poder levantar planiméricamente su distribución interior. Algunas veces es posible leer patrones y otras veces es muy difícil encontrar un orden que los organice. *A priori* no se presentan como un ejemplo de ventilación, materialidad o tipología estructural. En este sentido, desde el punto de vista biológico, su investigación apunta a una descripción básica de historia natural. Tiene el mérito de presentarnos cómo son los nidos. Pero se torna más interesante si la investigación se considera como el inicio de un proceso de innovación tecnológica que derive en una transferencia formal y funcional para materializar un tipo arquitectónico. Levantar información de manera objetiva para luego indagar si esta información deriva en alguna característica arquitectónica que pueda eventualmente ser útil para el desarrollo de un sistema edificatorio.

Para convertir las medidas de los nidos en información dimensional analizable en arquitectura, se probaron varias técnicas de digitalización. Finalmente, se optó por el uso de tomografías axiales computadas (TAC). De ellas deriva información que se puede transformar en planos bidimensionales y tridimensionales. De esta manera tomamos nidos de avispas alfareras a un centro de salud para ser sometidos a una TAC. La información resultante del proceso derivó en polígonos que describían el volumen a través de planos consecutivos, según su desplazamiento a lo largo de un eje, cada 0,3 mm (Figura 6). Todos estos polígonos se unieron mediante un *software* de modelado 3D, resultando en un modelo virtual editable de cada uno de los nidos. Con esta información se pudo describir con precisión la estructura

GEOMETRY AND PLANIMETRIC PRODUCTION

The final shape of the nests derives from apparently random associations between cells, but they generally end in volumes defined by planes with one, two and three curvatures. Sometimes, these curved planes are very smooth and continuous, as in the nests of *Hypodynerus chiliensis*.

Other times, the volume has a textured surface, giving it a more extravagant appearance, as in the case of the nests of *Hypodynerus lachesis*. These surfaces composed of double-curved planes are challenging to describe geometrically. It is even more difficult to analyse their interior distribution planimetrically. Sometimes, it is possible to read patterns; sometimes, finding an order to organise them takes a lot of work. We don't know whether these forms correspond to some architectural function. *A priori*, they do not present as an example of ventilation, materiality or structural typology. From a biological point of view, this research aims to provide a basic description of natural history. Its merit is in presenting us with what the nests look like. However, it becomes more interesting if the research is considered the beginning of a process of technological innovation that leads to a formal and functional transfer to materialise an architectural type. To gather information



**Fig. 7. Vistas en dibujo vectorial de un nido de avispas del Género *Sceliphron*.
Dibujo: Luis Felipe Martínez y Angel Tapia.**

**Fig. 7. Vector drawing of a nest of a wasp of the Genus *Sceliphron*.
Drawing: Luis Felipe Martínez and Angel Tapia.**

completa en tres dimensiones de cada nido, medidas, radios y espesores. Luego, el modelo puede ser sujeto de análisis en búsqueda de propiedades arquitectónicas asociadas a la interacción entre su forma, resistencia, espacio y materialidad.

No está demás decir que el proceso de la representación del objeto orgánico constituye un gran placer intelectual, derivado de las curiosas formas que se nos presentan por primera vez en un dibujo. Esta situación vincula esta investigación con otro nicho del biodiseño como es la ilustración científica (Figura 7).

ALCANCES PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Son diversas las líneas de investigación y desarrollo que se vislumbran a futuro. Primero están las cualidades del material con que están contruidos, el barro. Esta investigación es pertinente en parte porque la construcción en tierra está volviendo a tener la atención de la arquitectura. Cada vez es mayor el cuestionamiento ambiental en torno al impacto negativo de algunos materiales clásicos para la construcción como son el hormigón y el acero. Además, ambos consumen mucha agua y energía en su proceso de producción, y el hormigón particularmente, en el proceso de aplicación. Sus procesos causan contaminación atmosférica, y muchas veces aumentan su huella de carbono debido a la distancia entre su origen y su destino final. En cambio, la tierra es un material que está en todas partes, podrías disponer del material para tu obra dentro de tu mismo terreno. Además, la tierra es un material muy eficiente para el control de la temperatura interna de un edificio.

objectively and then investigate if this information derives into some architectural characteristic that could eventually be useful for developing a building system.

Several digitisation techniques were tested to convert nest measurements into dimensional information applicable to architecture. Finally, computed axial tomography (CT) was chosen. This imaging technique allows the creation of detailed representations of internal organs, bones, soft tissues and blood vessels. From these, we derive information that can be transformed into two- and three-dimensional blueprints. This way, we took potter wasp nests to a health centre for CT scanning. The information from the process was derived in polygons describing the volume through consecutive planes, according to their displacement along an axis every 0.3 mm (Figure 6).

All these plans were combined using 3D modelling software, resulting in an editable virtual model of each nest. With this information, it was possible to accurately describe the complete 3D structure of each nest, measurements, radii, and thicknesses. The model can then be analysed for architectural properties associated with the interaction between shape, strength, space, and materiality.

Representing an organic object is an extraordinary intellectual pleasure derived from the curious shapes we first

Una segunda línea de investigación está asociada a las condiciones estructurales de los planos curvados, que son el tipo de estructuras que tienen los nidos de avispas alfareras. Como se mencionó anteriormente, estas formas son muy eficientes en la relación masa/espacio cubierto, es decir, que utilizan una menor cantidad de material para una mayor cantidad de espacio. Además, estas formas son muy eficientes en la relación masa/capacidad resistente, es decir, que usan una menor cantidad de material para una misma distribución de cargas.

Por último, el diseño de los nidos de avispas alfareras con base en cúpulas, tubos o planos de doble curvatura corresponden a tres de las siete categorías de formas estructurales propuestas por Farshid Moussavi. Es decir, casi la mitad de las tipologías estructurales de los edificios se pueden realizar con barro. Esto habla de la versatilidad del material, pero también nos da una oportunidad para la exploración proyectual de estas geometrías que no nos son tan cercanas. Sin embargo, la tradición constructiva de una arquitectura en barro está asociada más bien a arquitecturas de baja altura. Pero si observamos nuestro entorno construido nos daremos cuenta de que la arquitectura popular es principalmente de uno o dos pisos; son las construcciones más comunes y repetidas a lo largo de Chile. La construcción en tierra se vería fomentada, además, por el creciente desarrollo de comunidades rurales, una hipotética regresión de la migración campo-ciudad. Este fenómeno potencia el desarrollo de una vida en baja densidad, lo que implica una reducción importante de los requerimientos

discover in a drawing. This activity links this research with another area of biodesign; scientific illustration (Figure 7).

SCOPE FOR ARCHITECTURAL DESIGN

Several research lines and developments are envisaged for the future. First, we could study clay features as the material from which they are constructed. This research is relevant because earthen construction is regaining industry attention. The negative impact of "classic" building materials such as concrete and steel on the environment is increasingly being questioned. In addition, both consume excessive water and energy in their production process. In the case of concrete, particularly in the application process. Their processes cause atmospheric pollution and often produce a carbon footprint due to the distance between their origin and destination. On the other hand, Earth is everywhere; you could have the material for your building site on your land. In addition, earth is a very efficient material for controlling the internal temperature of a building.

A second research line is associated with the structural conditions of curved planes, which are the type of structures that wasp nests have. As mentioned above, these shapes are very efficient in the mass/space covered ratio, i.e.

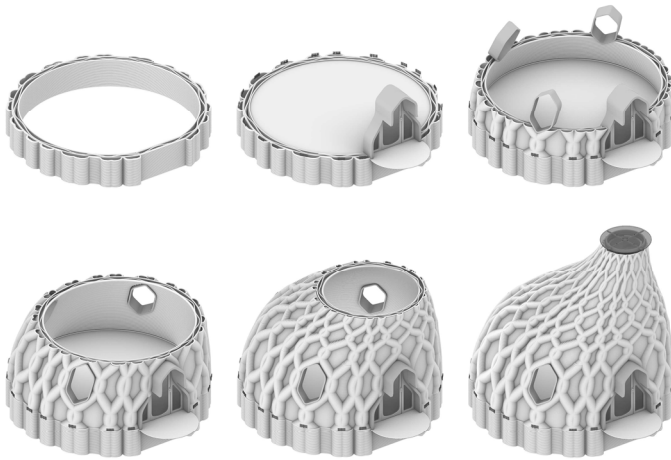
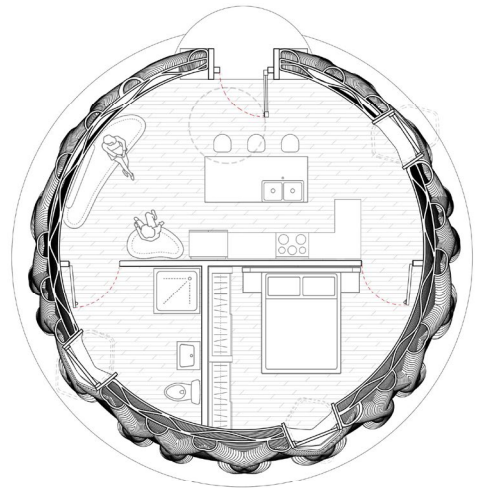


Fig. 9. Proyecto de vivienda impresa digitalmente con arcilla. Profesores: Verónica Arcos y Alejandro Soffía. Estudiantes: Luis Felipe Martínez y Ángel Tapia. Escuela de Arquitectura UNAB.

Fig. 9. Digitally printed housing project using clay. Tutors: Verónica Arcos and Alejandro Soffía. Students: Luis Felipe Martínez and Ángel Tapia, School of Architecture UNAB.

estructurales que, a su vez, abren la oferta de una mayor cantidad de construcciones en tierra.

Una tercera línea de investigación corresponde a la constructiva. La técnica que utilizan las avispas para construir sus nidos coincide con lo que nosotros hoy llamamos manufactura aditiva. Se trata de la construcción mediante el depósito de capas sucesivas de material. Hoy en día esta técnica vuelve a recuperar sentido gracias a la posibilidad que tenemos de controlar el proceso de depósito de material a través de un *software* y, luego, una máquina controlada por el mismo (Figura 8). Actualmente se han desarrollado impresoras 3D capaces de imprimir en las tres dimensiones, claro está, trabajando con distintos materiales como el plástico, el metal y la arcilla. En este último caso, la mezcla de tierra debe tener una consistencia tal que le permita pasar a través de la manguera y la boca que lo extruye, pero, al mismo tiempo, suficiente consistencia para que una vez que sale de la boca y se deposita sobre la capa anterior, no se deforme. Curiosamente, una de las empresas líderes en el mercado de extrusión de tierra a escala arquitectónica se llama WASP (avispa en inglés), y se encuentran construyendo prototipos que ponen en práctica todas estas virtudes anteriormente descritas.

they use a smaller amount of material for a larger amount of space. Moreover, these shapes are very efficient in the mass/resistance ratio, i.e. they use a smaller amount of material for the same load distribution. The composition of potter wasp nests based on domes, tubes or double curvature planes corresponds to three of the seven categories of structural forms proposed by Farshid Moussavi.

In other words, almost half of the structural typologies of the buildings can be made with clay. This speaks of the material's versatility and allows us to explore the design of these geometries that are not so close to us. However, the building tradition of earth architecture is more associated with low-rise architecture. Earth architecture would also be encouraged by the increasing development of rural communities, a hypothetical regression of rural-urban migration. This phenomenon enables the development of low-density living, which implies a significant reduction in structural requirements, which, in turn, opens the supply of a higher number of buildings on land.

A third line of research is constructive. The "technique" used by wasps to build their nests coincides with what we now call "additive manufacturing." This is a construction process that involves depositing successive layers of material. This technique has regained meaning thanks to the possibility of controlling the depositing process and the machinery to deposit the material employing software (Figure 8). 3D printers have been developed to print in three dimensions, working with various materials such as

La impresión 3D de arcilla, además, es compatible con la producción de estructuras de doble curvatura como bóvedas, cúpulas y planos con doble curvatura. Sus geometrías son difíciles de lograr debido a la rigidez de los materiales y los procesos constructivos tradicionales. Por lo tanto, la impresión 3D nos da la posibilidad de explorar una estética orgánica a la cual no estamos acostumbrados, y que puede derivar en formas y superficies complejas que mejoren el desempeño de los edificios. Esta es quizá una cuarta y última línea de investigación posible a partir del estudio de los nidos de avispas alfareras: el diseño de espacios y formas con geometrías de doble curvatura. Sabemos que esta plástica es menos frecuente de observar por restricciones técnicas, pero con el apoyo de las tecnologías de impresión 3D ahora podemos enfrentarnos a estos desarrollos y explorar las virtudes que tiene el espacio no ortogonal, la continuidad de las superficies, el reflejo de la luz o la conducción del aire, entre otras.

El estudio de los nidos de avispas alfareras no solo nos brinda una nueva perspectiva sobre la relación entre naturaleza y diseño, sino que también abre la puerta a innovaciones que pueden transformar nuestra manera de construir. Estas lecciones de la naturaleza nos ofrecen

plastic, metal, and clay. In the latter case, the soil mixture must be of a consistency that allows it to pass through the hose and the extruding spout, but at the same time of sufficient consistency so that once it leaves the spout and is deposited on top of the previous layer, it does not deform. Interestingly, one of the leading companies in the architectural-scale soil extrusion market is WASP (Wasp), and they are building prototypes that put all these virtues into practice.

Clay 3D printing is compatible with producing double-curvature structures such as vaults, domes and double-curved planes. Their geometries are complex due to the rigidity of the materials and traditional construction processes. Therefore, 3D printing allows us to explore an organic aesthetic that we are not used to, which can lead to complex shapes and surfaces that improve the performance of buildings. This is the fourth and final research line possible from studying these wasp nests: designing spaces and shapes with double-curved geometries. We know that this feature is less frequently observed due to technical restrictions. Still, with the support of 3D printing technologies, we can now face these developments and explore the virtues of non-orthogonal space, the continuity of surfaces, the reflection of light, and the conduction of air, among others.

The study of potter wasp nests gives us a new perspective on the relationship between nature and design and opens the door to innovations that can transform the way

métodos de construcción más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Al integrar estos principios en la arquitectura, tenemos la oportunidad de avanzar hacia un futuro más sostenible y equilibrado, donde la armonía con el entorno natural se convierte en una prioridad fundamental en el diseño y la construcción (Figura 9).

we build. These lessons from nature offer us more efficient and environmentally friendly construction methods. By integrating these principles into architecture, we can move towards a more sustainable and balanced future, where harmony with the natural environment becomes a fundamental priority in design and construction (Figure 9).

REFERENCIAS / REFERENCES

- Barrera-Medina, R., Soffia, A. (29-30 de noviembre de 2023). Actualización acerca del conocimiento en torno a los nidos de barro de avispas en Chile. 41° Congreso Nacional de Entomología de Chile. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.
- Benyus, J. (1991). Biomimicry: Innovation inspired by nature. Harper Perennial.
- Janvier, H. (1924). Los odineros de Chile. Anales de la Universidad de Chile.
- Moussavi, F. (2009). The function of form. Actar, Harvard Graduate School of Design.
- Myers, W. (2012). Bio design: Nature + Science + Creativity. The Museum of Modern Art.
- Soffia, A. (2011). Entomimética, transferencias al diseño desde la morfología y el comportamiento de los insectos (Tesis de maestría no publicada). Magister en Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Theraulaz, G., Bonabeau, E., Deneubourg, J.L. (1998). Insectos arquitectos, ¿nidos grabados en la cabeza? Mundo Científico. 196: 38-45.
- Von Frisch, K. (1974). Animal Architecture. Harcourt.
- Zhang, Z. et al. (2011). Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and taxonomic richness. Zootaxa. 3148:7-237.



ALEJANDRO SOFFIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO, UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTY OF ARCHITECTURE AND URBANISM, UNIVERSITY OF CHILE

ES ENTOMÓLOGO AUTODIDACTA Y SOCIO TITULAR DE LA SOCIEDAD CHILENA DE ENTOMOLOGÍA. TIENE MÁS DE CUARENTA AÑOS DE EXPERIENCIA OBSERVANDO LOS INSECTOS DE CHILE. CURADOR DE LA COLECCIÓN C.A.S.A, QUE POSEE ALREDEDOR DE 5.000 ESPECIES CHILENAS. REALIZA INVESTIGACIÓN BÁSICA SOBRE LA ARQUITECTURA DE LOS INSECTOS Y, EN PARTICULAR, SOBRE LOS NIDOS DE BARRO DE AVISPAS. HA PRESENTADO TRABAJOS AL RESPECTO EN LOS CONGRESOS NACIONALES DE ENTOMOLOGÍA DEL 2010 Y EL 2023. SU TESIS DE MAGÍSTER EN ARQUITECTURA, TITULADA "ENTOMIMÉTICA" (2011), EXPLORÓ CUALIDADES DE LOS INSECTOS PARA SU POSIBLE APLICACIÓN EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO. ACTUALMENTE SE ENCUENTRA ESCRIBIENDO EL LIBRO "ENTOMOLOGÍA POPULAR" PARA LA EDITORIAL HUEDERS.

ALEJANDRO SOFFIA IS A SELF-TAUGHT ENTOMOLOGIST AND FULL MEMBER OF THE CHILEAN ENTOMOLOGICAL SOCIETY. HE HAS MORE THAN FORTY YEARS OF EXPERIENCE OBSERVING THE INSECTS OF CHILE. CURATOR OF C.A.S.A COLLECTION, WHICH HAS AROUND 5,000 SPECIES. HE RESEARCHES INSECT ARCHITECTURE AND THE MUD NESTS OF WASPS. HE HAS PRESENTED PAPERS ON THIS SUBJECT AT THE NATIONAL ENTOMOLOGICAL CONGRESSES IN 2010 AND 2023. HIS MASTER OF ARCHITECTURE THESIS, ENTITLED "ENTOMIMETICS" (2011), EXPLORED THE QUALITIES OF INSECTS FOR POSSIBLE APPLICATION IN ARCHITECTURAL DESIGN. HE IS CURRENTLY WRITING THE BOOK "ENTOMOLOGÍA POPULAR" FOR EDITORIAL HUEDERS.