

Bárbara Felipe

Doutora en Arquitectura y Urbanism.
Professora del curso de arquitetura
Universidade de Federal do
Rio Grande do Norte
Natal, Brasil
<http://orcid.org/0000-0001-5410-4698>
barbara.felipe@ufrn.br

Carlos Nome

Doutor en Arquitectura. Professor
associado, Departamento
de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-1483-6979>
carlos.nome@academico.ufpb.br

TAXONOMÍA PARA LA FABRICACIÓN DIGITAL PARA LA ARQUITECTURA

DIGITAL MANUFACTURING TAXONOMY FOR ARCHITECTURE

TAXONOMIA DA FABRICAÇÃO DIGITAL PARA A ARQUITETURA



Figura 0. HF1 | CoBLOgó. Fuente:
Sperling y Herrera Polo (2015)

ABSTRACT

This article presents the Taxonomy for Digital Fabrication (TDFab+Arch), a tool developed to categorize and compare projects materialized through digital fabrication. In this article, TDFab+Arch has been applied to the Homo Faber (HF) catalogs, which bring together digital fabrication projects in Latin America from 2015 to 2022, and a comparison has been made between the techniques used by these projects. The structuring of the taxonomy was based on systematic literature reviews that identified criteria in the design processes, resulting in four categories: "design aspects," "machinery," "materials," and "surface topology." The methodology used in this article is "constructive research" as described by Kasanen et al. (1993) and Lukka (2003), which involves three phases of the process: understanding the project, proposing a solution, and validating the taxonomy. This methodology facilitates an understanding of the application of the taxonomy as a mode of classification, contributing to the advancement of knowledge in the field. The article presents the projects through text and images, making it easier to identify relevant aspects. TDFab+Arch stands out for its flexibility and versatility, making it suitable for cataloging project design. The taxonomy generates various visualization types, allowing designers to explore the criteria according to their specific needs. Qualitative content analysis and the structuring of the taxonomy were essential for organizing the techniques, materials, and equipment involved in digital fabrication, promoting a clearer understanding of the field. As a result, TDFab+Arch allows the designer to explore the criteria from different perspectives and gain a more comprehensive understanding of the projects. The taxonomy is an adaptable and customizable tool, allowing users to understand the criteria used in the development of each project.

Keywords: taxonomy, digital fabrication, project classification, Homo Faber.

RESUMEN

Este artículo presenta la Taxonomía para la Fabricación Digital (TDFab+Arch), una herramienta desarrollada para categorizar y comparar proyectos materializados a través de la fabricación digital. En este artículo, la TDFab+Arch se aplicó a los catálogos de Homo Faber (HF), que reúnen proyectos de fabricación digital en América Latina entre 2015 y 2022, y se realizó una comparación entre las técnicas utilizadas por estos proyectos. La estructuración de la taxonomía se basó en revisiones sistemáticas de literatura que identificaron criterios en los procesos de diseño para la estructuración en cuatro categorías: formas para fabricación digital, maquinaria, materiales y topología de superficie. La metodología utilizada en este artículo es la «investigación constructiva» de Kasanen et al. (1993) y Lukka (2003), que se ha dividido en tres fases del proceso: comprensión del proyecto, propuesta de la solución y validación de la taxonomía. Esta metodología ayuda a comprender la aplicación de la taxonomía como modo de clasificación y contribuye al avance de los conocimientos en la materia. El artículo presenta los proyectos mediante texto e imágenes, lo que facilita la identificación de los aspectos relevantes. La TDFab+Arch destaca por su flexibilidad y versatilidad, lo que la hace ideal para la catalogación del diseño de los proyectos. La taxonomía genera distintos tipos de visualización, lo que permite a los diseñadores explorar los criterios en función de sus necesidades particulares. El análisis del contenido cualitativo y la estructuración de la taxonomía fueron esenciales para organizar las técnicas, materiales y equipos implicados en la fabricación digital, promoviendo una comprensión más clara del campo. Como resultado, TDFab+Arch permite al diseñador explorar los criterios desde diferentes perspectivas y obtener una comprensión más exhaustiva de los proyectos. La taxonomía es una herramienta adaptable y personalizable, que permite a los usuarios comprender los criterios utilizados en el desarrollo de cada proyecto.

Palabras clave: Taxonomía, fabricación digital, clasificación de proyectos, Homo Faber.

RESUMO

Este artigo apresenta a Taxonomia para Fabricação Digital (TDFab+Arch), uma ferramenta desenvolvida para categorizar e comparar projetos materializados por meio da fabricação digital. Neste artigo, a TDFab+Arch foi aplicada aos catálogos Homo Faber (HF), que reúnem projetos de fabricação digital na América Latina entre 2015 e 2022, e realizada uma comparação entre as técnicas utilizadas por estes projetos. A estruturação da taxonomia foi baseada em revisões sistemáticas de literatura que identificaram critérios nos processos de projeto para a estruturação em quatro categorias: "formas para fabricação digital", "maquinário", "materiais" e "topologia das superfícies". A metodologia utilizada neste artigo é a "pesquisa construtiva" conforme descrita por Kasanen et al. (1993) e Lukka (2003), que envolve três fases do processo: compreensão do projeto, proposição da solução e validação da taxonomia. Essa metodologia auxilia o entendimento da aplicação da taxonomia como modo de classificação e contribui para o avanço do conhecimento na área. O artigo apresenta os projetos por meio de texto e imagens, facilitando a identificação de aspectos relevantes. A TDFab+Arch destaca-se pela flexibilidade e versatilidade, podendo ser utilizada tanto no processo projetual quanto na catalogação de projetos. A taxonomia gera diferentes tipos de visualização que permitem que os projetistas explorem os critérios conforme suas necessidades. A análise qualitativa de conteúdo e a estruturação da taxonomia foram essenciais para organizar as técnicas, materiais e equipamentos envolvidos na fabricação digital, promovendo uma compreensão mais clara do campo. Como resultados, a TDFab+Arch permite que o projetista explore os critérios a partir de diferentes perspectivas e tenha uma compreensão mais abrangente dos projetos. A taxonomia é uma ferramenta adaptável e personalizável, permitindo que os usuários entendam os critérios utilizados no desenvolvimento de cada projeto.

Palavras chaves: taxonomia, fabricação digital, classificação de projetos, Homo Faber.

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta la Taxonomía para la Fabricación Digital para proyectos a escala arquitectónica materializados a través de la fabricación digital. Ofrece categorización con criterios bien definidos para ayudar a la comprensión y comparación entre proyectos. La taxonomía, que se denominó TDFab + Arch, se desarrolló como parte de una investigación doctoral. La aplicación de la TDFab + Arch permite el diseño de procesos de fabricación digital y categorización de diversos proyectos. La taxonomía es un marco teórico y metodológico, alojado en la plataforma Notion (una herramienta en línea) para la clasificación y documentación de proyectos. Por lo tanto, es una herramienta de registro de proyectos y apoyo analítico comparativo.

Este artículo tiene como objetivo describir el desarrollo de la taxonomía y su aplicación en proyectos de los catálogos Homo Faber (HF): HF1.0 (Sperling & Herrera Polo, 2015), HF2.0 (Scheeren et al., 2018) y HF3.0 (Herrera et al., 2023), que albergan proyectos de fabricación digital publicados entre 2015 y 2022 en América Latina. Se eligieron estos catálogos porque organizan proyectos que detallan técnicas, procesos y resultados, facilitando el análisis. La TDFab + Arch se basa en dos revisiones sistemáticas de la literatura que identificaron criterios abordados en los procesos de diseño de fabricación digital, lo que permitió un análisis comparativo enriquecedor. Así, los proyectos del catálogo de HF se analizan utilizando la metodología de «investigación constructiva» de Kasanen et al. (1993) y Lukka (2003). Los pasos incluyen la caracterización de los proyectos materializados utilizando técnicas de fabricación digital, la aplicación de la taxonomía y la comparación de los proyectos para analizar las técnicas empleadas. Como resultado, surgen criterios relevantes para los laboratorios en América Latina, promoviendo debates, nuevas colaboraciones y aplicaciones en diferentes contextos, guiando así a los diseñadores en formación. La taxonomía y la herramienta apuntan a promover el debate, desarrollar nuevos criterios, expandir las aplicaciones y guiar a los diseñadores en formación mediante la sistematización de los criterios utilizados en los catálogos.

MARCO TEÓRICO

Este artículo analiza la aplicación de la taxonomía TDFab + Arch al catálogo de HF. La taxonomía, que sistematiza aspectos de diseño como materiales, maquinaria y topología de superficies, se utiliza aquí para organizar los proyectos catalogados y permitir comparaciones que revelen particularidades del contexto latinoamericano. Este enfoque vincula el proceso de diseño con los criterios de viabilidad regionales, mientras explora el desarrollo del catálogo de HF en sí. Para superar las limitaciones temporales del estado del arte, la taxonomía demuestra ser una herramienta flexible capaz de contextualizar nuevas discusiones en el campo, ya sean temporales, tecnológicas o geográficas.

Fabricación digital en América Latina

La fabricación digital en América Latina sigue una trayectoria diferente, al surgir del contexto académico antes de consolidarse en la práctica arquitectónica. Esto contrasta con el Norte Global, donde la evolución pasó de la industria a la arquitectura. Esta dinámica ha creado una cultura de fabricación personal y un ecosistema diverso de iniciativas locales, que integran tecnologías digitales en sus proyectos (Herrera, 2024). En Sudamérica, el interés por las formas complejas y las teorías de la complejidad ha llevado a que la fabricación digital sea reconocida como un medio de transición computacional, inicialmente en el ámbito académico, permitiendo la creación de prototipos a escala

(Scheeren, 2022). Mientras que en el Norte Global, la fabricación digital evolucionó a partir de la práctica y el uso de herramientas como CAD y CAM. En contraste, el desarrollo de Sudamérica fue impulsado por el conocimiento teórico adquirido por investigadores capacitados en el extranjero, que a menudo estaban desconectados de la industria y la fabricación. (Herrera, 2024). En los últimos 20 años, la región ha visto pocos avances técnicos significativos, con iniciativas enfocadas principalmente en el uso individualizado de tecnologías, en lugar de introducir innovaciones en materiales, geometrías o sistemas integrados (Scheeren & Sperling, 2024).

La fabricación digital en América del Norte y del Sur presenta marcados contrastes. En el Norte, hay estabilidad económica y política; el sector está impulsado por fondos militares, gubernamentales e industriales, centrándose en la construcción a gran escala y con una amplia integración entre la industria, la academia y la cultura informática. En el Sur Global, existen dependencia económica e inestabilidad; el sector se sostiene con financiamiento académico y privado, lo que resulta en laboratorios modestos y proyectos a pequeña escala con un impacto limitado al diseño académico y una integración curricular restringida (Herrera, 2024).

Herrera (2024) señala que la producción global en fabricación digital ha avanzado de manera complementaria, integrando experimentos académicos y prácticos para difundir el conocimiento. En América Latina, SIGraDi ha sido el principal vehículo de discusión e intercambio sobre fabricación digital desde 1998. Para entender la producción latinoamericana en este contexto, este artículo utiliza el catálogo Homo Faber, que presenta proyectos de fabricación digital producidos durante las últimas dos décadas, para demostrar la aplicación de TDFab+Arch como herramienta para catalogar y comparar proyectos, así como para ayudar en proyectos futuros.

Catálogo Homo Faber

El proyecto Homo Faber comenzó en 2014 con el objetivo de mapear y categorizar iniciativas de fabricación digital en América Latina. La primera exposición, Homo Faber 1.0 (Sperling & Herrera Polo, 2015), brindó una base conceptual y tecnológica al tema, convirtiéndose en un referente en la región y consolidando el material como un punto clave en el escenario latinoamericano. En 2018, la segunda edición, "Homo Faber 2.0: Políticas de lo Digital en América Latina" (Scheeren et al., 2018), amplió este mapeo para incluir nuevas iniciativas de varias regiones. La tercera edición, "Homo Faber 3.0: Apropiación de la Fabricación Digital desde América Latina" (Herrera et al., 2023), consistió en una serie de exposiciones organizadas por varias universidades latinoamericanas. Estas exposiciones fueron apoyadas por investigaciones y publicaciones que integraron una red de investigadores y creadores, permitiendo una visión integral de las prácticas de fabricación digital en América Latina. El proyecto contribuyó al crecimiento y consolidación de laboratorios y redes de investigación en la región, destacando iniciativas locales y sus aplicaciones en arquitectura, diseño y arte (Herrera et al., 2023).

Estos catálogos cubren las dos décadas de implementación y desarrollo de tecnologías de fabricación digital en América Latina, fomentando una red de colaboración entre profesionales, académicos e instituciones de la región. Las publicaciones presentan producciones de arquitectura, muebles, utensilios domésticos, joyería e instrumentos musicales. Cada objeto catalogado contiene información detallada de fabricación, incluidos los procesos y materiales utilizados (Scheeren, 2022; Herrera et al., 2023).

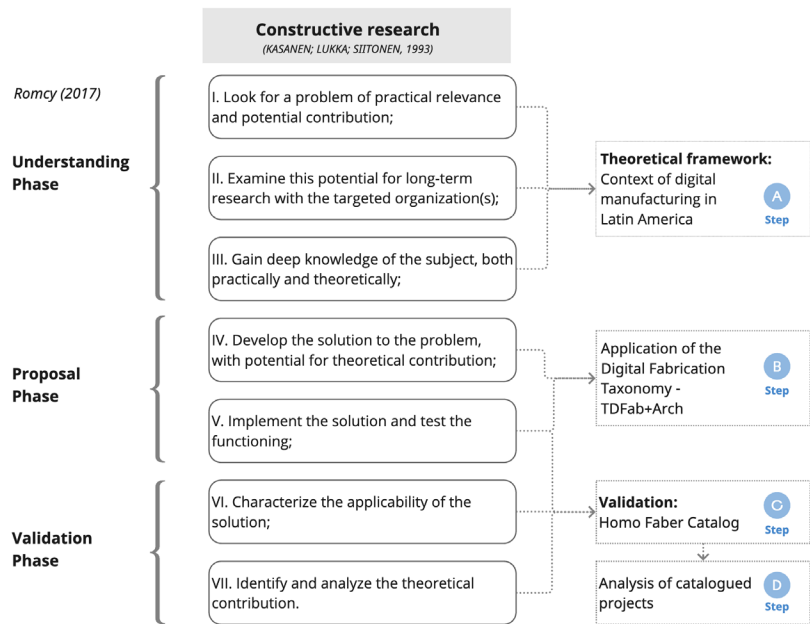


Figure 1. Directrices metodológicas. Fuente: Preparadas por el autor en 2024.

En esta investigación, los catálogos de Homo Faber se consideran como los esfuerzos más completos, sistemáticos y continuos para registrar los avances de investigación y diseño en Fabricación Digital en América Latina. Su uso en investigación también reconoce limitaciones derivadas de su proceso editorial inherente y la maduración de las discusiones teóricas sobre el tema. Por ende, también entendemos el impacto de ampliar las brechas de alcance seleccionando solo proyectos de estos catálogos que resultaron en objetos materializados, excluyendo así experimentos sociales o teóricos sobre fabricación digital. El propósito de este enfoque fue evaluar la efectividad de los criterios establecidos y las capacidades de la herramienta TDFab+Arch.

METODOLOGÍA

Este artículo emplea el método de «investigación constructiva» propuesto por Kasanen et al. (1993) y Lukka (2003), que comienza por identificar un problema y proponerle una solución. El proceso se divide en tres fases: comprender el proyecto, proponer una solución y validar la taxonomía en función de la catalogación de HF. Su objetivo es clasificar los proyectos de HF materializados utilizando TDFab+Arch. La investigación comenzó con la comprensión del problema y la identificación de contribuciones a la fabricación digital, seguida de la aplicación de la taxonomía para validar y evaluar su potencial para catalogar proyectos materializados digitalmente. Así, el estudio avanza en el conocimiento al crear y validar una taxonomía fundamentada teóricamente, corroborada por la literatura científica (Figura 1).

Categorización de criterios para la TDFab+Arch

A través de una rigurosa revisión sistemática de la literatura, los criterios descritos en las taxonomías se clasificaron posteriormente en grupos. Esta agrupación también registra, según la revisión bibliográfica, los múltiples autores que exploran los criterios seleccionados en su investigación. Estos son grupos que abarcan elementos clave del proceso de diseño (elementos de diseño), tipos de fabricación digital para la realización

de materiales, como detalla Iwamoto (2009), y otros métodos, técnicas y estrategias prevalentes para generar superficies (topología de superficie), el tamaño del objeto (pequeño, mediano, grande y extragrande) y el equipo necesario para la fabricabilidad del objeto arquitectónico. Estos criterios se segmentaron y asignaron aún más dentro de estas categorías, como se ilustra en la Tabla 1.

Tabla 1. Criterios y autores.
Fuente: Preparado por el autor

Criterios	Autores
Escala	
Pequeña	Pupo (2008), Griz et al. (2017), y Bax y Trum (2002)
Mediana	
Grande	
Extragrande	
Técnicas de fabricación digital	
Plegado	Iwamoto (2009), Dunn (2012), Capone y Lanzara (2018), Capone y Lanzara (2019) y Lanzara (2015)
Secciones	
Teselación	
Conformado	
Topología de superficie	
Curvatura doble	Capone y Lanzara (2018), Capone y Lanzara (2019) y Lanzara (2015)
Forma libre	
Curva simple	
Maquinaria	
Procesos aditivos Impresora 3D	Bax y Trum (2000), Bax y Trum (2002), Trum y Bax (1996), Sass y Botha (2006) y Vrouwe (2018), Austern et. al (2018)
Procesos sustractivos / Corte por láser	
Procesos sustractivos Enrutador CNC	
Robótica	
Materiales	
Madera/Contrachapado	Bax y Trum (2002), Chua et al. (2003), Austern et al. (2018), Ashby (2013), Agudelo (2017) y Vrouwe (2018).
Acero	
Tela	
Concreto	
Cob/Paja	
Cerámica/Mampostería	
Fibra de carbono	
Biomateriales	
Plástico/PLA	
Aspectos de diseño	
Desempeño (ambiental y estructural)	Ashby (2013) y Sass y Botha (2006)
Desechos	Ashby et al. (2019)
Tiempo - Corte, máquina y ensamblaje	Bax y Trum (2000), Sass y Botha (2006), Austern et al. (2018)
Transporte	Sass y Botha (2006), Austern et al. (2018), Griz et al. (2017), y Ashby et al. (2019),
Parametrización/BIM	Vrouwe (2018), Gebhardt (2011), Dunn (2012), y Cooper (2001)
Modulación	Griz et al. (2017) y Sass y Botha (2006)
Conexiones/Accesorios	Griz et al. (2017), Chua et al. (2003), Bax y Trum (2002)
Estabilidad	Trum y Bax (1996)
Montaje y desmontaje	Austern et al. (2018) y Sass y Botha (2006)
Costo	Austern et al. (2018), Ashby et al. (2019), y Bax y Trum (2000)
Ruta de la herramienta	Griz et al. (2017)

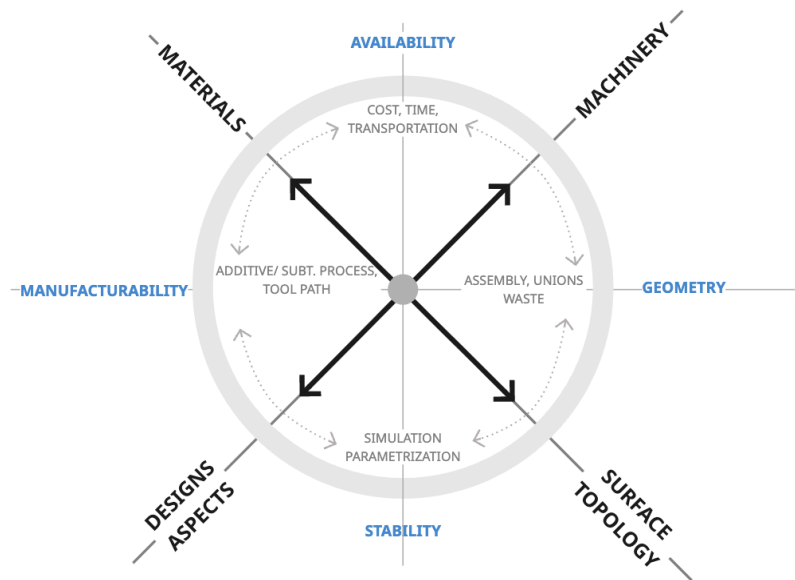


Figure 2. TDFab+Arch. Fuente: Preparado por el autor en 2023.

La TDFab+Arch está estructurada en un círculo para reflejar su aplicación cíclica. El círculo presenta cuatro categorías a lo largo de los ejes diagonales: «formas para fabricación digital», «maquinaria», «materiales» y «topología de superficie». Los criterios de «aspectos de diseño» están dispuestos en azul alrededor del círculo y en gris en el interior: Los criterios se organizan radialmente a lo largo de ejes diagonales y perpendiculares, lo que permite a los diseñadores acceder al proyecto desde varios puntos, como maquinaria, materiales o aspectos de diseño. Este enfoque requiere comprender la escala, el tipo de superficie y la fabricación digital. Esta estructura guía a los diseñadores en la toma de decisiones, permitiendo un acceso flexible a lo largo de los ejes, con flechas que indican la bidireccionalidad. La taxonomía y la herramienta propuesta ayudan al proceso creativo e informan las decisiones. La inclusión de «arco» enfatiza su enfoque arquitectónico, mientras que el símbolo más (+) sugiere aplicabilidad en otros campos, como la ingeniería y el diseño (Figura 2).

La aplicación de la taxonomía en los catálogos de Homo Faber sirvió como una muestra transversal ideal para validar esta efectividad, como se justificó anteriormente, permitiendo elaborar indicadores gráficos que reflejen las inquietudes de los diseñadores a la hora de crear los prototipos. El proceso de aplicación de la taxonomía destacó la importancia de los criterios en el entendimiento jerárquico y relacional entre ellos.

DESARROLLO

La TDFab+Arch resulta del desarrollo metodológico y del marco teórico-conceptual, incluidas las revisiones sistemáticas de la literatura, el análisis cualitativo del contenido, la estructuración taxonómica y la validación. La sección de información incluye datos sobre el catálogo del proyecto Homo Faber, como origen, laboratorio responsable, nombre del proyecto, autor y fecha de publicación. En la tercera sección, el diseñador debe definir la escala del objeto: la escala pequeña cubre objetos portátiles, como taburetes y sillas; la escala media se aplica a objetos que pueden ser movidos o levantados por una persona, como mesas, y; la gran escala se refiere a objetos más grandes y pesados que requieren de dos personas o equipos para ser

movidos o manipulados, como camas matrimoniales y paneles de pared. Finalmente, la escala extragrande se refiere a estructuras autónomas, como pabellones y edificios, que requieren infraestructura para su ensamblaje. En el contexto de la taxonomía, la escala influye en la elección de los materiales, la precisión de los equipos y la viabilidad del proyecto, así como en las proporciones y la relación con el entorno.

En la cuarta sección, se seleccionan los criterios para la fabricación digital, incluidos las formas, la topología de la superficie, la maquinaria, los materiales y los aspectos de diseño. Se puede acceder a y completar cada categoría de forma independiente seleccionando el triángulo en el panel de herramientas de la TDFab+Arch.

En esta sección, se tratan las «formas para la fabricación digital», incluidos los planos en serie, el teselado y el conformado y plegado (Iwamoto, 2009), que permiten que un objeto incorpore diversas técnicas. Se analiza la «topología de superficies», incluida la doble curvatura, la forma simple y la forma libre (Lanzara, 2015). También se examina la maquinaria utilizada en la fabricación digital, incluidos los procesos aditivos y sustractivos, con imágenes y ejemplos de los equipos. La sección analiza los materiales utilizados en los proyectos, distinguiendo entre «un material», que utiliza un solo tipo de material, y «materiales diferentes», que involucra varios de estos.

Taxonomía aplicada en proyectos arquitectónicos

Este tema abarca tres secciones que analizan las similitudes y diferencias entre los criterios de los proyectos catalogados en el HF y los de la TDFab+Arch. La interacción con la taxonomía permite identificar aspectos del proyecto a través de texto, imágenes y videos. Estos análisis ayudan a mejorar la herramienta, identificar sus limitaciones y explorar nuevas oportunidades de creación y materialización.

HF | Escalas y geometría

En esta sección se analizan proyectos de diferentes escalas: pequeña, mediana, grande y extragrande, estableciendo una relación entre los criterios de la TDFab+Arch y su aplicación en la materialización. Ejemplos como «Mapped Empathy» (o Empatía Mapeada) de Guto Requena y «Bancapar» demuestran esta relación utilizando un solo material: metal para Bancapar y madera contrachapada para Mapped Empathy. Ambos usan procesos sustractivos con fresadoras CNC y utilizan planos en serie para construir formas libres, y Bancapar logra su forma cortando en una placa y Mapped Empathy, explotando la maleabilidad de los materiales (Figura 3 y Figura 4).

Los proyectos descritos son de gran escala y están influenciados por la disponibilidad de maquinaria, lo que afecta la elección de materiales, costo, tiempo y transporte. La estabilidad, garantizada por las uniones, es crucial en esta escala. Se utilizó parametrización para definir las curvas en base a simulaciones. Estos criterios se refieren a varios aspectos de la fabricación digital. Así, existe una síntesis en los proyectos, estructurada en base a los criterios establecidos por la taxonomía (Tabla 2).



Figure 3. Mapped Empathy por HF2. Fuente: Scheeren et al. (2018)

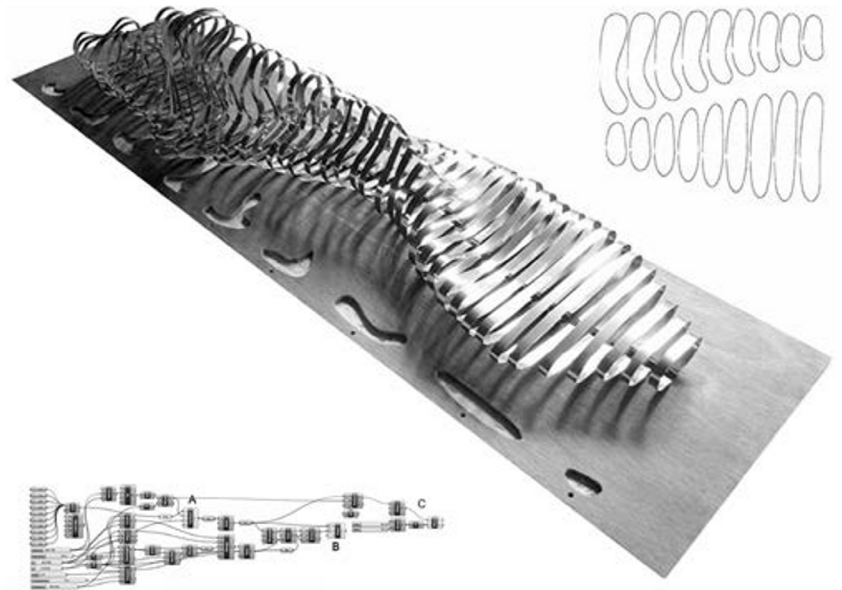


Figure 4. HF1-BANCAPAR. Fuente: Sperling y Herrera Polo (2015)

HF | Procesos de fabricación, superficies y materiales

Al centrarse en los procesos de fabricación aditiva y sustractiva, es posible aplicarlos de forma complementaria en un proyecto. En el ejemplo de «Fabricación Digital Artesanal de Baldosas», el proceso sustractivo sirve de base para el aditivo. El moldeado permite crear formas a partir de piezas cortadas, destacando la interdependencia entre los procesos. Esta integración demuestra cómo la fabricación digital explora varios enfoques, aprovechando las características únicas de cada método para crear soluciones creativas y prácticas en la materialización del proyecto (Figura 5).

Criterios	Subcriterios	Aplicación
1. Escala	1.3 Grande	Ambos son proyectos a gran escala
2. Técnicas de fabricación digital	2.2 Secciones	Uso de planos en serie
3. Topología de superficie	3.2 Forma libre	Curvas de forma libre con geometría compleja
4. Maquinaria	4.3 Procesos sustractivos	El fresado CNC se utiliza para cortar secciones.
5. Materiales	5.1 Madera/contrachapado	«Mapped Empathy» usa madera contrachapada
	5.2 Acero/metal	«BANCAPAR» usa metal
6. Aspectos de diseño	6.1 Desempeño (estructural)	Se consideran el desempeño estructural y la estabilidad
	6.3 Tiempo - Corte, máquina y ensamblaje	El tiempo se ve afectado por la escala y el proceso.
	6.4 Transporte	Un gran tamaño influye en el transporte
	6.5 Parametrización/BIM	Curvas definidas por simulación paramétrica
	6.7 Conexiones/accesorios	Estabilidad garantizada a través del ensamblaje
	6.10 Costo	Costo influenciado por la maquinaria y la escala

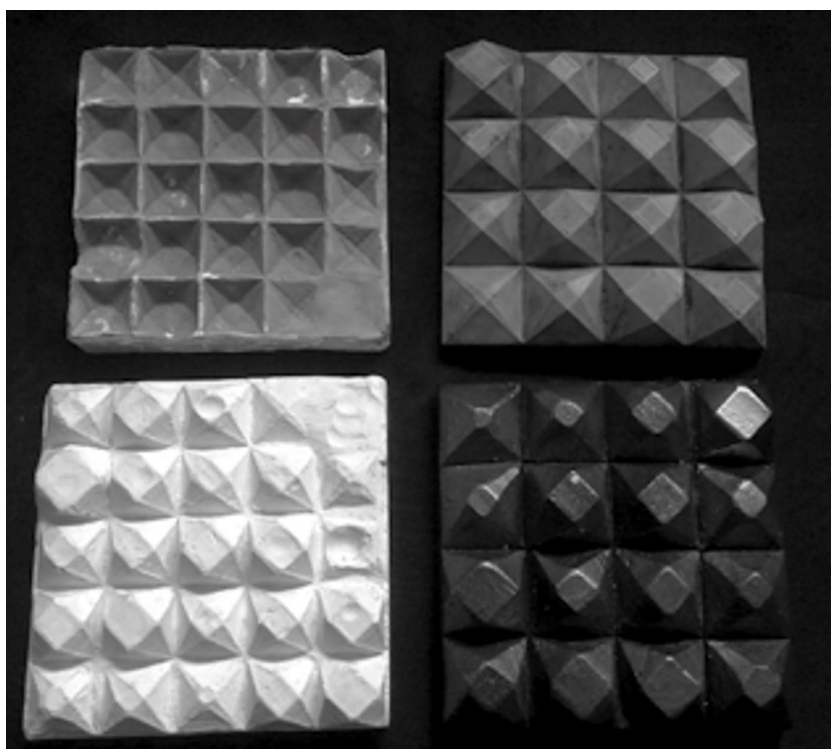


Tabla 2. Escalas y geometría – taxonomía. Fuente: Preparado por el autor

Figura 5. Fabricación Digital Artesanal de Baldosas. Fuente: Scheeren et al. (2018)

El proceso de fabricación puede utilizar concreto, arcilla y filamentos de impresora 3D, lo que da como resultado piezas curvas con diseños simples, dobles o de forma libre. Para objetos a gran escala, se requieren formas grandes o accesorios entre piezas más pequeñas. Al vincular técnicas de fabricación digital con uniones, existe una afinidad entre planos en serie, conformado, teselado y plegado. Algunos elementos se pueden formar sin accesorios, simplemente moldeándolos y apilándolos, como se ve en la «Escultura Helix» de The Onion Lab (Figura 6).

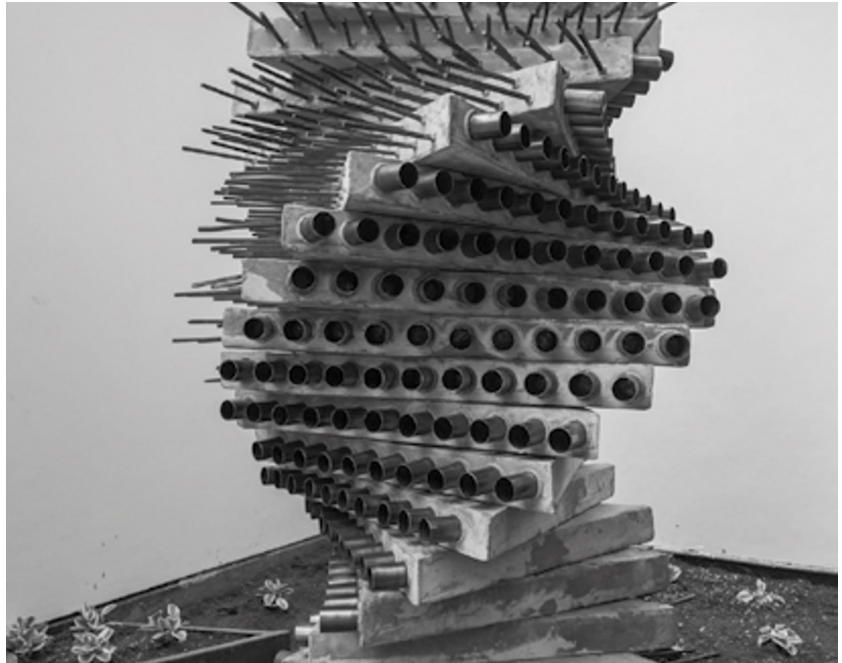


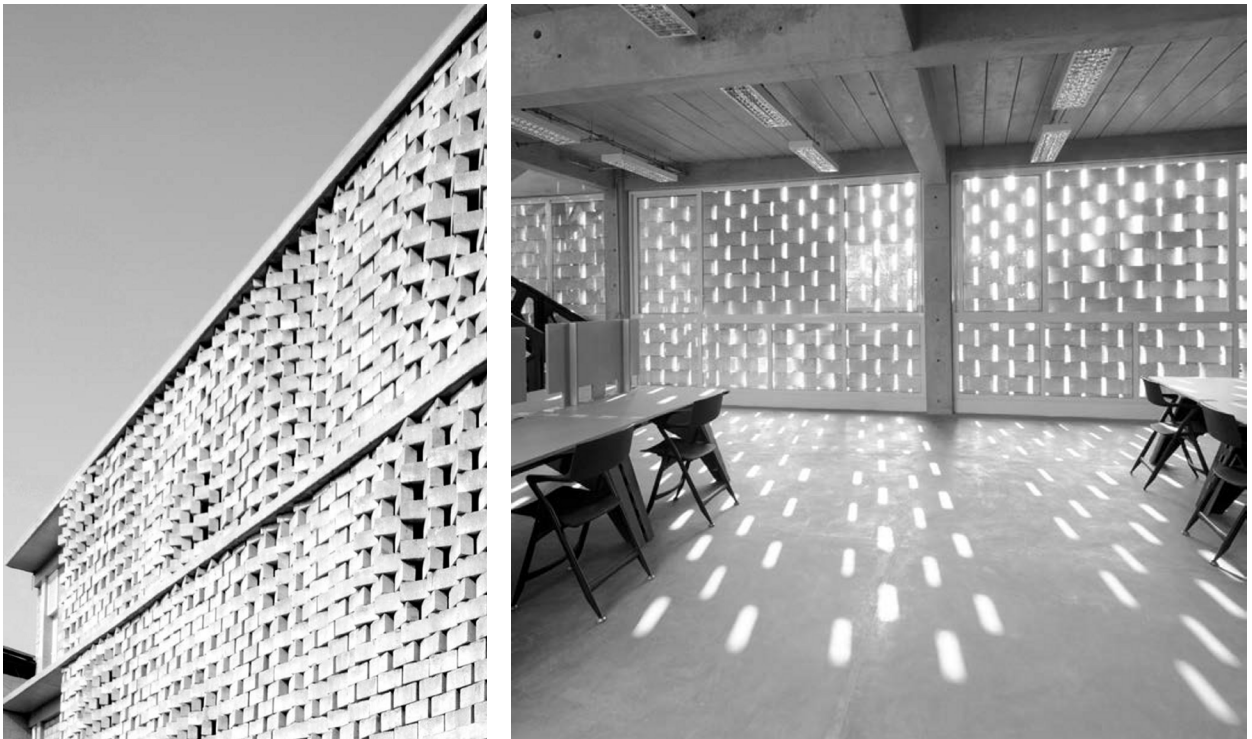
Figura 6. Escultura Helix.
Fuente: Scheeren et al. (2018).



Figure 7. Lounge for Brazilian
Venture. Fuente: Scheeren et al.
(2018).



Figure 8. Funicular Shells.
Fuente: Scheeren et al. (2018).



En la TDFab+Arch, los procesos de fabricación impactan en otros factores clave, incluidos los materiales, la maquinaria y la topología de la superficie. Estas influencias se verifican a través de los proyectos Homo Faber discutidos. La combinación de dos o más técnicas en un objeto puede afectar su escala y complejidad, requiriendo una evaluación de costos, beneficios y conectores para la estabilización. Las técnicas de contorneado se pueden aplicar en el proceso sustractivo, como en las esculturas. En el proyecto «Lounge for Brazilian Venture», se utilizaron topologías basadas en escultura digital para crear las superficies de sofás y nichos, con un algoritmo en software paramétrico para automatizar la preparación de los archivos. El modelo 3D se seccionó de acuerdo con la profundidad de la fresadora CNC, con piezas cortadas, numeradas y agrupadas para su transporte. Estas piezas sirvieron de base para la aplicación de resina y fibra de vidrio, combinando procesos sustractivos y aditivos (Figura 7). El proyecto «Funicular Shells» utilizó modelado, fabricación CNC y montaje de pabellones con forma de funicular, analizando su comportamiento estructural a través de simulaciones. El análisis involucra la escala, la estabilidad y los conectores del objeto, y la topología de la superficie está influenciada por la técnica de fabricación utilizada (Figura 8).

Los proyectos mencionados también demuestran una conexión entre los diferentes criterios abordados en la Taxonomía. Esta conexión comienza en la categoría de topología de superficie y atraviesa los criterios relacionados con materiales, maquinaria, formas para fabricación digital, estabilidad y procesos aditivos y sustractivos. Esta interacción entre los criterios afecta el costo, el tiempo, el transporte, el ensamblaje, las uniones y la generación de desechos.

Para crear formas de doble curva o de forma libre, es común utilizar procesos sustractivos con accesorios. Es posible utilizar maquinaria como robots o deposición de material para construir curvas, pero se debe considerar la estabilidad y la conexión entre

Figura 9. HF1 | CoBLOgó.
Fuente: Sperling y Herrera Polo
(2015).

las piezas. Se agrega otra capa de complejidad con la simulación y el desempeño, tanto ambiental como estructural, del proceso de ensamblaje del proyecto. Este ejemplo se puede ver en el proyecto «CoBLOgó», donde se desarrolla una pieza monolítica de concreto para formar una fachada de forma libre. La disposición de las piezas fue dictada por simulaciones por computador del desempeño ambiental, como se muestra en la Figura 9.

En este ejemplo, la TDFab+Arch comienza seleccionando concreto como material y su proceso de fabricación, lo que influye en las simulaciones por computador que ayudan a definir la topología de la superficie. Además, se tiene en cuenta la disponibilidad de maquinaria a la hora de montar las piezas. Este proceso ilustra la interacción entre los diferentes criterios de la TDFab+Arch para registrar un escenario complejo, donde la elección del material, la definición de la geometría y el uso adecuado de la maquinaria son cruciales para el proyecto (Tabla 3).

Tabla 3. Procesos de fabricación, superficies y taxonomía de materiales. Fuente: Preparado por el autor

Criterios	Subcriterios	Aplicación
1. Escala	1.3 Grande	Todos los proyectos son de mediana a gran escala; la complejidad y el montaje requieren esta clasificación
2. Técnicas de fabricación digital	2.1 Plegado	Presente en la conformación (por ejemplo, Helix)
	2.2 Secciones	Utilizado en el proyecto Lounge (para CNC) y la escultura Helix
	2.3 Teselación	Presente en Helix, baldosas y Funicular Shells
	2.4 Conformado	Conformado de baldosas a través de moldes; conformado de concreto en CoBLOgó
3. Topología de superficie	3.1 Doble curvatura	CoBLOgó y Funicular Shells
	3.2 Forma libre	Lounge, Helix, CoBLOgó
	3.3 Curva simple	Proyecto de baldosas
4. Maquinaria	4.1 Procesos aditivos	Baldosas y CoBLOgó
	4.3 Procesos sustractivos	Proyecto Lounge y baldosas
	4.4 Robótica	Uso potencial para deposición de material (mencionado como una posibilidad para formas curvas)
5. Materiales	5.4 Concreto	CoBLOgó y baldosas
	Cerámica/mampostería	Baldosas
	5.9 Plástico/PLA	Filamentos de impresión 3D mencionados
6. Aspectos de diseño	6.1 Desempeño (ambiental y estructural)	CoBLOgó y Funicular Shells utilizan la simulación para informar el diseño
	6.2 Desechos	Eficiencia considerada en el uso de materiales y el proceso de producción.
	6.3 Tiempo - Corte, máquina y ensamblaje	CNC y métodos aditivos tienen un impacto en la duración
	6.4 Transporte	Proyecto Lounge, piezas preagrupadas para el transporte
	6.5 Parametrización/BIM	Lounge y CoBLOgó utilizan modelado paramétrico y simulación
	6.6 Modulación	Patrones de baldosas y segmentación de piezas (Lounge, baldosas)
	6.7 Conexiones/accesorios	Helix (apilamiento), CoBLOgó (montaje modular)
	6.8 Estabilidad	Requerida en toda debido a la forma y la escala; asegurada a través del ensamblaje o la simulación
	6.9 Montaje y desmontaje	Lounge y Helix se ensamblan de forma modular
	6.10 Costo	Afectado por la elección del proceso (CNC, impresión 3D, moldeo de concreto)
	6.11 Trayectoria de la herramienta	Enrutamiento CNC (Lounge, baldosas), generación automatizada de archivos mediante modelado paramétrico



HF | Uniones y materiales

Un ejemplo de un proyecto que explora uniones y materiales es “Furetsu”, que utiliza un material liviano para crear piezas con topologías de superficie altamente curvas o formas libres. El proyecto utiliza materiales como láminas de madera contrachapada, acrílico y metal y emplea enrutadores CNC y cortadores láser para crear pliegues y teselaciones dentro de estos materiales. Además, esta técnica se puede utilizar como método de anidación que facilita la flexión de la forma o incluso a través de la geometría de las propias piezas. Estas estrategias se ilustran en la Figura 10.

En este proyecto, se utilizó un material liviano para fabricar piezas independientes que se cortaron por separado. Estas piezas se superpusieron a una estructura piramidal y se conectaron mediante un marco rígido cortado con una fresadora CNC. En la fabricación digital, las uniones juegan un papel crucial en la unión de materiales y formas, proporcionando estabilidad a las piezas. La forma final del pabellón se logra a través de dos técnicas simultáneas de fabricación digital: plegado y teselado, que se aplican a piezas planas para crear una forma de doble curva. Las simulaciones por computador generaron esta geometría compleja, lo que permitió que el pabellón se montara y desmontara fácilmente y que fuera móvil y reutilizado.

En la discusión sobre la escala y las uniones, vemos que, en piezas pequeñas, los accesorios son innecesarios, ya que los objetos tienden a ser autoportantes o macizos. El proyecto «A Walking City; Archigram Unique vs Reproducible» se realizó utilizando dos tipos de materiales, clasificados como multimateriales en el contexto de la TDFab+Arch. En el prototipo, la forma se logró uniendo las piezas de madera contrachapada. En el segundo experimento, el modelo se hizo monolíticamente sin necesidad de accesorios (Figura 11).

El proyecto se concibió teniendo en cuenta la maquinaria disponible, estableciendo una relación con los materiales adecuados para la Fabricación Digital. Al mismo tiempo, se puso atención al ensamblaje de las piezas y a garantizar su estabilidad estructural. En cuanto a las uniones entre las partes de un mismo objeto, dos tipos se refieren a los criterios formulados: cuando las uniones están hechas del mismo material que el objeto, como en el caso de objetos de madera/contrachapado con accesorios de silla de montar para planos serializados; y cuando las uniones

Figura 10. Furetsu. Fuente: Scheeren et al. (2018).

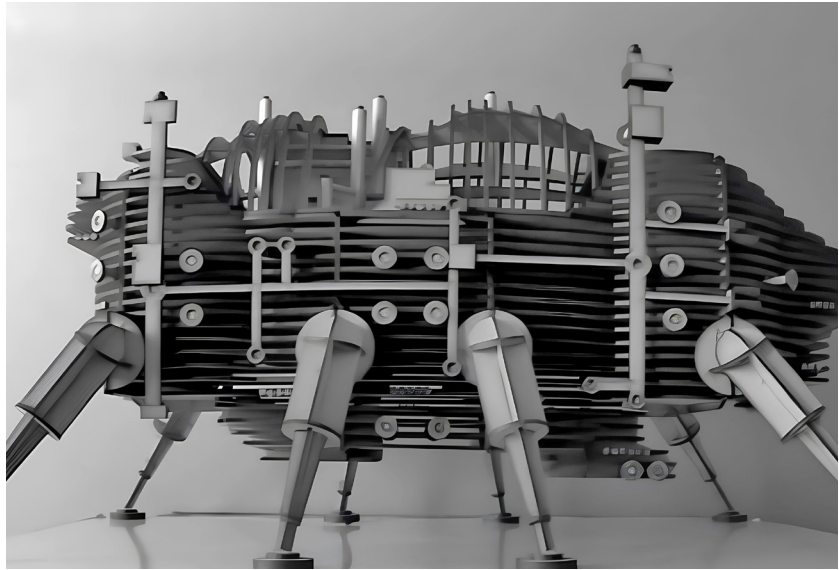


Figure 11. A Walking City.
 Fuente: Sperling y Herrera Polo
 (2015)

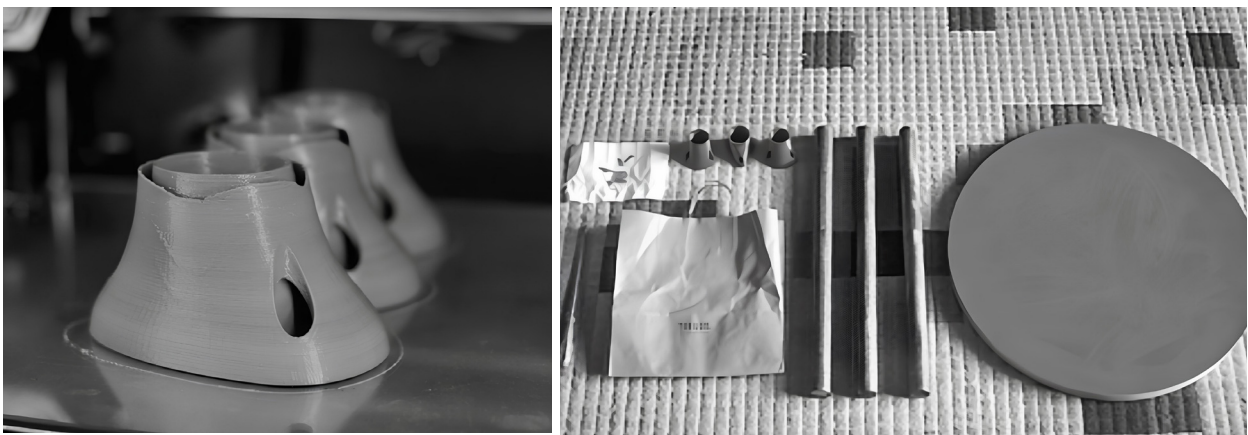


Figure 12 - HF2 | 360 Furniture.
 Fuente: Scheeren et al. (2018)

utilizan materiales diferentes, como en el caso de objetos de contrachapado y herrajes de tornillos y clavos u objetos impresos en 3D. Es el caso del proyecto «360° Furniture», una línea de mobiliario que integra objetos cotidianos con tecnología de impresión 3D. Este enfoque permite personalizar la producción según las preferencias del usuario (Figura 12).

La función de las uniones en el montaje de muebles caracteriza este proyecto. A través de la parametrización, estas uniones se optimizaron y adaptaron para satisfacer necesidades específicas. El proceso de montaje utiliza una impresora 3D para producir las uniones, que permiten la conexión entre el contrachapado cortado mediante procesos sustractivos y las patas cilíndricas de madera del mueble.

Resúmenes de casos prácticos - HF

Los estudios de caso examinan diferentes materiales, técnicas de fabricación y escalas, ilustrando cómo las herramientas digitales afectan la complejidad geométrica, la lógica de ensamblaje y el desempeño del material de cada propuesta (Tabla 4). Proyectos como Mapped Empathy y Bancapar ejemplifican construcciones a gran

Crterios	Subcriterios	Aplicación
1. Escala	1.1 Pequeña / 1.3 Grande	«360° Furniture» y «Walking City» involucran objetos pequeños; «Furetsu» es un pabellón a gran escala
2. Técnicas de fabricación digital	2.1 Plegado	Se utiliza en «Furetsu» para permitir la conformación de la superficie
	2.3 Teselación	Permite la curvatura en «Furetsu»
3. Topología de superficie	3.1 Doble curvatura	Lograda en «Furetsu»
	3.2 Forma libre	Tanto «Furetsu» como «Walking City» exhiben formas complejas
4. Maquinaria	4.2 Procesos sustractivos	Usados en «Furetsu» y posiblemente en «Walking City»
	4.3 Procesos sustractivos	Se utiliza para cortar contrachapado y estructura en «Furetsu» y «360° Furniture»
	4.1 Procesos aditivos	Aplicado en «360° Furniture» para producir uniones
5. Materiales	5.1 Madera/contrachapado	Común a todos los proyectos
	5.9 Plástico/PLA	Componentes impresos en 3D en «360° Furniture»
	5.2 Acero/metall	Utilizado en «Furetsu»
	Multimaterial	«Walking City» (versiones monolíticas + ensamblaje)
6. Aspectos de diseño	6.1 Desempeño (estructural)	Todos los proyectos consideran la estabilidad estructural
	6.3 Tiempo - Corte, máquina y ensamblaje	Montaje simplificado mediante cortes CNC y simulación en «Furetsu» y uniones en «360° Furniture»
	6.4 Transporte	«Furetsu» es móvil; el desmontaje está habilitado
	6.5 Parametrización/BIM	Se utiliza para diseñar y adaptar uniones en «360° Furniture»
	6.6 Modulación	Presente en cortes planos serializados («Furetsu», «Walking City»)
	6.7 Conexiones/accesorios	Enfoque clave en los tres proyectos (uniones de madera, uniones de materiales mixtos, conectores impresos)
	6.8 Estabilidad	Lograda a través de estrategias de conexión y simulación de diseño.
	6.9 Montaje y desmontaje	Priorizado en «Furetsu» y «360° Furniture»
	6.10 Costo	Influenciado por el número de piezas, las técnicas de fabricación y el tipo de unión
	6.11 Herramienta	Estrategias de corte CNC y láser utilizadas para la optimización

escala utilizando procesos sustractivos (fresado CNC) y secciones en serie para lograr geometrías de forma libre. Por el contrario, Furetsu y 360° Furniture destacan el papel de las uniones y el comportamiento de los materiales en proyectos de mediana y pequeña escala, utilizando procesos sustractivos y aditivos. Walking City y Lounge Venture enfatizan la modularidad, la movilidad y el diseño orientado al desempeño, a menudo moldeado por la maquinaria disponible y el modelado paramétrico. Como herramienta para registrar y apoyar el análisis comparativo, la exploración de la TDFab+Arch permite la construcción de diversas interpretaciones de estudios de casos. Ejemplos de subproductos se presentan en la Tabla 5 que consolida los principales criterios observados en cada caso, centrándose en la elección de materiales, procesos, geometría, métodos de montaje, escala del proyecto, consideraciones de rendimiento y el uso de la parametrización.

Esta investigación analiza, a través de la taxonomía desarrollada, cómo las técnicas de fabricación digital dan forma al desarrollo de un objeto arquitectónico a diversas escalas. A través de estudios de casos que van desde prototipos hasta pabellones, demuestra cómo los métodos de fabricación, los materiales y las estrategias de ensamblaje definen el resultado de un proyecto. Estos ejemplos ilustran la interacción

Table 4 Uniones y materiales.
Fuente: Preparado por el autor
Síntesis de estudios de caso - HF

Proyecto	Material	Proceso	Geometría	Montaje	Escala	Desempeño	Parametrización
Mapped Empathy	Madera contrachapada	Sustractivo (CNC)	Forma libre, secciones en serie	Estabilidad a través de las uniones	Grande	Tiempo, costo, transporte	Simulación basada en curvas
Bancapar	Metal	Sustractivo (CNC)	Forma libre, secciones en serie	Estabilidad a través de las uniones	Grande	Tiempo, costo, transporte	Simulación basada en curvas
Fabricación de baldosas	Concreto, cerámica	Moldeado, impresión 3D	Doble curvatura, teselación	Montaje modular con uniones	Mediana	Desempeño estructural, tiempo	Simulación paramétrica
Furetsu	MDF	Corte CNC (capas seccionadas)	Superficies de forma libre	Montaje apilando piezas	Grande	Estabilidad estructural	Scripting paramétrico
360° Furniture	PLA (impreso en 3D)	Aditivo (impresión 3D)	Curvas simples + uniones	Conectores de impresión directa	Pequeña	Costo, tiempo	Scripting específico de la unión
Walking City	MDF + Arduino	Corte CNC + montaje electrónico	Formas modulares simples	Componentes montables	Pequeña	Transporte, modularidad	No se menciona
Lounge Venture	Madera contrachapada	Corte CNC	Forma libre, secciones en serie	Montaje estructural con uniones	Grande	Desempeño estructural, tiempo	Parametrización geométrica

Tabla 5 Síntesis de casos.
Fuente: Preparado por el autor

fundamental entre la geometría, el desempeño estructural y las capacidades disponibles en los flujos de trabajo digitales. Aunque el enfoque actual está en el proceso de construcción, la taxonomía abre vías para futuras investigaciones sobre la función y ocupación de los espacios, ampliando la comprensión de cómo se pueden habitar estos sistemas. Además, la herramienta se puede utilizar para identificar tendencias emergentes en el Sur Global mediante el análisis de proyectos específicos. Su potencial se verá reforzado por la continua expansión de su base de datos, consolidando su papel como guía para la investigación y la práctica del diseño.

CONCLUSIONES

La taxonomía de fabricación digital TDFab+Arch es una herramienta flexible y versátil que puede contribuir a optimizar el proceso de diseño de proyectos de fabricación y catalogación digital. Este artículo cubre varios aspectos de la metodología de investigación, incluida la Revisión Sistemática de la Literatura (SLR, por su sigla en inglés), el análisis cualitativo de contenido y la estructuración y aplicación de la Taxonomía para la Fabricación Digital para la Arquitectura (TDFab+Arch). A través de estos enfoques, fue posible definir posibles avances en el campo de la fabricación digital a escala arquitectónica.

La SLR proporcionó una base teórica para la investigación, identificando y refinando el estudio y desarrollando la taxonomía. El análisis cualitativo de contenido permitió una investigación más profunda de los artículos recopilados a través de la codificación realizada por TDFab+Arch. Este análisis proporcionó una comprensión integral de los conceptos relacionados con la fabricación digital y las necesidades y desafíos que enfrentan los diseñadores.

Así, se logró el objetivo de este artículo, siendo la estructuración de la taxonomía un paso fundamental para organizar y categorizar los elementos esenciales de la fabricación digital. Además, al aplicar la taxonomía, intervienen en el proceso diversas técnicas, materiales, equipos y aspectos de diseño. Esta estructuración contribuyó a una comprensión más detallada y sistemática, facilitando la aplicación de la TDFab+Arch y el desarrollo de proyectos de fabricación digital. La herramienta surgió del desarrollo e integración de todos los componentes discutidos. Constituye un marco teórico-metodológico, construido sobre la plataforma Notion (herramienta digital) para la clasificación y documentación de proyectos. En consecuencia, sirve como instrumento para el registro de proyectos y la asistencia analítica comparativa. La TDFab+Arch tiene el potencial de ayudar en el proceso de diseño y se puede utilizar como guía desde la concepción del proyecto hasta la materialización o como herramienta para clasificar proyectos de fabricación digital. El nombre de la herramienta sugiere un énfasis en la arquitectura, pero esto no limita su uso. Los tipos de visualización disponibles en la Taxonomía de Fabricación Digital ofrecen a los diseñadores diferentes formas de visualizar y explorar los criterios ingresados en la herramienta. Es importante tener en cuenta que se alienta al diseñador a explorar múltiples tipos de visualización, cambiando entre ellos según sea necesario. Cada vista tiene ventajas específicas y contribuye a comprender y organizar los criterios.

La flexibilidad de la herramienta y la posibilidad de aplicar filtros permiten al usuario seleccionar la visualización que mejor se adapte a sus preferencias y necesidades en cada momento. Esta posibilidad mejora la interactividad de la herramienta, permitiendo al diseñador explorar los criterios desde diversas perspectivas y obtener una comprensión más completa de los proyectos. La Taxonomía de Fabricación Digital es una herramienta adaptable y personalizable, que permite a los usuarios elegir la visualización que mejor se adapte a sus necesidades en cada momento.

La aplicación continua del arco de la TDFab+Arch a futuros catálogos y como herramienta de diseño permitirá comprender mejor los elementos contextuales que contribuyeron a los procesos de toma de decisiones que condujeron a diferentes soluciones. Se posibilitan estudios comparativos a través de las categorías de la taxonomía, así como revisiones estructuradas de procesos, técnicas, geometrías y materialidades similares. Este es un elemento crítico para acelerar la producción de contribuciones significativas al campo y aplanar las curvas de aprendizaje para las futuras generaciones de diseñadores e investigadores por igual.

Conceptualización, BF y CN; Curación de datos, BF y CN; Análisis formal, BF y CN; Adquisición de financiación, BF; Investigación, BF y CN; Metodología, BF y CN; Administración de proyectos, BF y CN; Recursos, BF y CN; Software, BF y CN; Supervisión, CN; Validación, BF y CN; Visualización, BF y CN; Escritura-borrador original, BF y CN; Escritura- revisión y edición, BF y CN.

**CONTRIBUCIÓN
DE LOS AUTORES
CRediT**

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (PPGAU) de la Universidad Federal de Paraíba (UFPB), al Laboratorio de Modelado y Prototipado (LM+P) y a DIAPROJ por su asistencia y oportunidades que hicieron posible este estudio. Adicionalmente, agradecemos a la Universidad Federal Rural de la Región Semiárida (UFERSA), a la Universidad Federal de Río Grande Norte (UFRN) y al grupo de investigación Alpendre. También se debe hacer un reconocimiento especial a la Comisión Fulbright de Brasil y al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) por su apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

Agudelo, L.-M., Nadeau, J.-P., Pailhes, J., & Mejía-Gutiérrez, R. (2017). A taxonomy for product shape analysis to integrate in early environmental impact estimations. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 11(2), 397–413. <https://doi.org/10.1007/s12008-016-0337-0>

Ashby, M. F. (2013). *Materials and the Environment. Eco-informed Material Choice*. Butterworth-Heinemann.

Ashby, M. F., Shercliff, H., & Cebon, D. (2019). *Materials: Engineering, science, processing and design*. Katey Birtcher.

Austern, G., Capeluto, I. G., & Grobman, Y. J. (2018). Rationalization methods in computer aided fabrication: A critical review. *Automation in Construction*, 90, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.027>

Bax, T., & Trum, H. (2000). A Building Design Process Model - According to Domain Theory in H. H. Achten, B. de Vries, & J. M. Hennessey (Eds.), *Design Research in the Netherlands 2000* (p. 19–30). Technische Universiteit Eindhoven.

Bax, T., & Trum, H. (2002). *Faculties of Architecture. Version*, 64–75.

Capone, M., & Lanzara, E. (2018). Kerf bending: Ruled double curved surfaces manufacturing. *XXII congresso da sociedade iberoamericana de gráfica digital*. https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2018_1389.pdf

Capone, M., & Lanzara, E. (2019). Parametric Kerf Bending: Manufacturing double curvature surfaces for wooden furniture design in F. Bianconi & M. Filippucci (Eds.), *Digital Wood Design. Innovative Techniques of Representation in Architectural Design* (pp. 415–439). Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03676-8>

Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2003). Fundamentals of Rapid Prototyping in C. K. Chua, K. F. Leong, & C. S. Lim, *Rapid Prototyping: Principles and Applications* (pp. 11–13). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Cooper, K. G. (2001). *Rapid Prototyping Technology: Selection and Application*. CRC Press

Dunn, N. (2012). *Digital Fabrication in Architecture*. Laurence King Publishing.

Gebhardt, A. (2011). *Understanding Additive Manufacturing. Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing*. Hanser Publishers. <https://doi.org/10.3139/9783446431621>

Griz, C., Queiroz, N., & Nome, C. (2017). Edificação Modular: Estudo de caso e protótipo de um sistema construtivo de código aberto utilizando prototipagem rápida. *SiGraDi 2017. Actas del XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, Concepción, Chile*. https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2017_043.pdf

Herrera, P. C. (2024). Machine Not Homed: Growth and Perspectives on Digital Fabrication Made in Latin America in G. Canizares, & Z. Cohen (Eds.), *Homing the Machine in Architecture* (1st edition, pp. 2010–2237). Routledge.

Herrera, P. C., Scheeren, R., & Sperling, D. M. (2023). *Homo Faber 3.0: Appropriations of Digital Fabrication from Latin America 2022*. Editorial Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). <https://doi.org/10.19083/978-612-318-462-9>

Iwamoto, L. (2009). *Digital Fabrications: Architectural and Material Techniques*. Princeton Architectural Press.

Kasanen, E., Lukka, K., & Siitonen, A. (1993). The Constructive Approach in Management Accounting Research. *Journal of Management Accounting Research*, 5, 243–264.

Lanzara, E. (2015). Paneling Complex Surfaces. Razionalizzazione di superfici complesse per l'industrializzazione [Doctoral thesis, Università degli Studi di Napoli Federico II]. FedOA Università degli Studi di Napoli Federico II Open Archive. <https://doi.org/10.6092/UNINA/FEDOA/10453>

Lukka, K. (2003). The Constructive Research Approach in L. Ojala, & O.-P. Hilmola (Eds.), *Case study research in logistics* (p. 83–101). Turku School of Economics and Business Administration.

Pupo, R. T. (2008). Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 1 (3), 80-98. <https://doi.org/10.20396/parc.v1i3.8634511>

Sass, L., & Botha, M. (2006). The Instant House: A Model of Design Production with Digital Fabrication. *International Journal of Architectural Computing*, 4(4), 109–123. <https://doi.org/10.1260/147807706779399015>

Scheeren, R. (2022). *Fabricação digital na América do Sul: Laboratórios, estratégias, processos e artefatos para o design, a arquitetura e a construção* [Doctoral thesis, Universidade de São Paulo]. Digital Library USP. <https://doi.org/10.11606/T.102.2021.TDE-05042022-173034>

Scheeren, R., Herrera, P. C., & Sperling, D. M. (Eds.). (2018). *Homo Faber 2.0. Politics of Digital in Latin America*. Instituto de Arquitetura e Urbanismo

Scheeren, R., & Sperling, D. M. (2024). In between revolutions or the state of digital fabrication technologies in South America academia: a systematic and critical review. *Blucher Design Proceedings*, 12(3), 551–562. <https://doi.org/10.5151/sigradi2023-467>

Sperling, D. M., & Herrera Polo, P. C. (2015). Homo Faber Digital Fabrication in Latin America CAAD Futures 2015 the next city. Instituto de Arquitectura y Urbanismo de São Carlos. <http://hdl.handle.net/10757/605203>

Trum, H. M. G. J., & Bax, M. F. T. (1996). The taxonomy of concepts in architecture: some applications and developments. *Open House International*, 21 (1), 4–14. <https://pure.tue.nl/ws/files/3123905/Metis250169.pdf>

Vrouwe, I. (2018). *Sensemaking in Construction. The Necessity of Making* [Doctoral thesis, Katholieke Universiteit Leuven]. Ivo Vrouwe | WorkShop IV. <https://ivovrouwe.net/thesis/>