

Fecha de recepción: diciembre 2022

Fecha de aprobación: enero 2023

Fecha publicación: febrero 2023

Diseño paramétrico y producción en Laboratorio de Fabricación (Fablab), como alternativa para reducir la emisión de dióxido de carbono. Caso de estudio

Alex Barreno Ávila ⁽¹⁾ y Martin Monar Naranjo ⁽²⁾

Resumen: La huella de carbono mide el impacto de cambio climático que tiene el uso de un bien o servicio. Según datos de la Agencia Internacional de Energía, el consumo de toneladas de dióxido de carbono equivalente con respecto al transporte a nivel mundial se ha duplicado en los últimos 30 años. De acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre cambio climático, alrededor del 30% de consumo energético corresponde al transporte terrestre de carga liviana y pesada. En la actualidad la manufactura de productos principalmente está enfocada en fabricar artículos que son diseñados y construidos de forma centralizada, es decir todo se realiza en un único sitio y posteriormente es comercializado y distribuido alrededor del mundo al cliente final. El avance en los sistemas de diseño por computadora y fabricación digital ha permitido que en cada ciudad ya se encuentren varios laboratorios de fabricación, así como en las academias se van implementando estos laboratorios conocidos también como Fablab. Estos permiten tener maquinas disponibles para realizar el producto final sin necesidad que sea producción exclusiva en alguna fabrica especializada y sin generar emisiones adicionales por el transporte del mismo producto desde otra región o país. Para el presente estudio se utilizó el software de código abierto “OpenScad” que permite generar archivos de código los cuales son interpretados en mapas 2D y 3D. Los archivos generados podrán ser replicados fácilmente y de la misma manera permite la edición de las variables para modificar el aspecto del producto. Se escogió como producto un jardín vertical, cuyas variables editables son: diámetro y número de macetas, dimensiones generales del mueble y de la forma de acople de este. Se concluye de la presente investigación que una alternativa viable para disminuir las emisiones de CO₂ y el impacto ambiental es el enfocarse en la distribución digital del diseño del producto, tomando en cuenta su fácil replicabilidad en laboratorios de fabricación locales.

Palabras clave: Fabricación Digital - Huella de Carbono - Fablab - Consumo Energético - Diseño Paramétrico.

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 26-27]

⁽¹⁾ Ingeniero Mecánico titulado en la Universidad Técnica de Ambato. Líneas de Investigación: Optimización de Parámetros de Fabricación, Cambio Climático y Prototipado Rápido. Correo: abarreno7358@uta.edu.ec

(2) Técnico Docente en Universidad Técnica de Ambato. Ingeniero en Mecatrónica y Máster en Administración de empresas con mención en sistemas integrados de calidad, seguridad y ambiente. Líneas de Investigación: Fabricación digital, Análisis ergonómico. Correo: mb.monar@uta.edu.ec

Introducción

En Ecuador existe varios espacios de fabricación digital que en los últimos años ha ganado protagonismo, generalmente los Fab-Labs están bajo la tutela de instituciones académicas, pero si existen casos de éxitos del sector privado como lo explica (Rivera & Pilicita, 2019) en su investigación. Uno de los primeros laboratorios de Fabricación digital oficial en Ecuador se encuentra en Yachay con apoyo económico de empresa privada Schlumberger (Bocchicchio & Manuel, 2015).

El diseño paramétrico se basa en el pensamiento lógico y en la búsqueda del algoritmo que dé como fin un producto que demuestre la intención y expresión del diseño del creador. (Wassim, 2013). Para la implementación de estos objetos 3D basados desde un diseño algorítmico existen aplicaciones o programas de alta gama como también de acceso gratuito como lo explica (Guitierrez, Jimenez, & León, 2018). Los mayores exponentes son programas como Rhinoceros, Grasshopper, Fusion360 y Solidworks que son programas de paga; también se tiene la posibilidad de programas gratuitos como Thinkercad y OpenScad, este último genera los objetos basados en programación de código.

Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero es una de las metas que se han propuesto los países integrantes de la Organización de Naciones Unidas desde sus resoluciones del Protocolo de Kioto en 1998 (Naciones Unidas, 1998). Estos gases son los principales responsables del aumento de la temperatura del planeta, se estima que en los siguientes cien años la temperatura podría aumentar hasta 5.8 grados centígrados. Esto genera un aumento de sucesos climáticos catastróficos y una subida en el nivel del mar (Arroyo & Miguel, 2019).

El uso de la electricidad tiene una relación indirecta en la emisión de gases de efecto invernadero por lo cual su estimación y producción a base de energías renovables es de importancia en la actualidad, debido a que la energía que se basa en la quema de combustibles fósiles o carbono son las predominantes en algunas industrias (Rhonmer, 2019).

Discusión

El autor (Barba, 2021) analiza mediante encuestas y entrevistas los factores que promueven o limitan la implementación del prototipado rápido en la ciudad de Quito, como solución a la fabricación de mobiliario. Las empresas de mobiliario realizan los trabajos en su mayoría de manera manual, mientras que el desconocimiento, capacitación costos y

manejo de software son los factores que limitan la posibilidad de adoptar tecnologías de fabricación digital.

En su tesis doctoral (Leen, 2021) facilita el uso del software “JigFab” en el cual se realiza el diseño del mueble a construir, se crean los planos de fabricación y mediante de una cortadora láser se genera las guías tanto en madera como en cartón para que después sean utilizadas con las diferentes herramientas de construcción de muebles, como caladora, lijadora, sierra circular. El programa genera además un manual de armado, lo que permite que personas con una experiencia casi nula en construcción y armado de muebles puedan crear sus propios objetos con base a estas guías de corte láser y el manual para el armado. El programa se encarga de diseñar los espacios donde estarán los troqueles y los diferentes tipos de juntas que permitirán armar este objeto final. Considera además la tolerancia para el que el mueble no necesite de otra sujeción extra más que de las mismas piezas de madera.

Estos esfuerzos en el análisis del mercado y en nuevas tecnologías que permiten que más personas sin la experiencia necesaria y con la ayuda de software puedan crear sus propios productos ayudan a tener una producción local y no depender de una producción en otros países que provea de los productos finales. El proyecto de (Leen, 2021) está pensado para la fabricación tomando en cuenta las máquinas que cuenta un laboratorio de fabricación FabLab básico y así no necesitar CNC o máquinas industriales más sofisticadas para realizar la fabricación del producto.

Una alternativa que promueve (Fekry Gamal, 2021) para reducir la contaminación y la generación de Ton. Co₂, es la fabricación de mobiliario desde el desperdicio generado por las grandes industrias, determinando que la reducción de la huella de carbono se puede realizar no solo desde el cambio a una fabricación digital, si no a una cadena de producción más eficiente y amigable con el medio ambiente. El autor promueve el diseño de objetos (en este caso mobiliario) con los materiales desechados y obteniendo en este caso muebles que cumplen todos los requisitos del usuario requiere y con un acabado estético. El autor (Jin, 2021) analiza las toneladas de Co₂ que generan países como China y Corea en el cual describe que China es el principal consumidor de carbono para la generación de energía, además de su gran industria de producción lo que le convierte en uno de los países más contaminantes del mundo. En convenios internacionales los mayores países productores y potencias mundiales acuerdan la reducción de emisiones de Co₂ lo que según el estudio presentado, China espera una reducción de 62,56 millones de toneladas de Co₂ en su industria manufacturera. El autor relaciona el costo beneficio que obtiene cada país al realizar este proceso de descarbonización.

Metodología

Según (Baena, 2014) y (Cruz del Castillo, 2014), la investigación mantiene un enfoque cuantitativo deductivo, debido a que se evaluará la emisión de carbono de un producto producido en un laboratorio de fabricación, que por tener modelos digitales de libre uso se puede replicar en cualquier parte del mundo, a comparación a realizar el mismo prototipo

en china (principal productor de muebles de gama baja y media que son vendidos en el mercado Ecuatoriano). La investigación también es exploratoria de eje transversal debido a que se analiza las variables propuestas por una única vez.

Para el diseño paramétrico del objeto se procede a implementar una propuesta que permita a los usuarios la modificación del objeto según sus necesidades, sin la necesidad de que el usuario conozca de diseño o de un programa en específico y tenga que diseñar el objeto de nuevo. Para esto se procede a diseñar el objeto en OpenScad con una herramienta web llamada BlockScad. Las herramientas antes mencionadas permiten el diseño paramétrico del objeto mediante programación de bloques, facilitando la determinación de variables las cuales el usuario final las podrá modificar según lo necesite (Kintel, 2018)

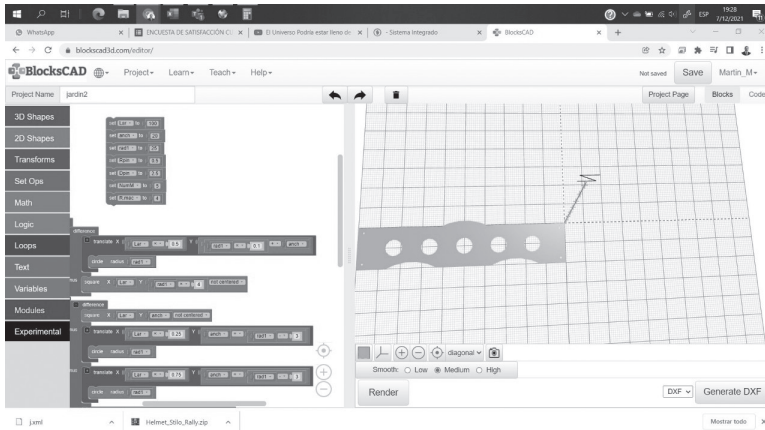
De acuerdo con (Navarro, 2013) un de los aspectos necesarios en las nuevas urbanizaciones es la implementación de jardines verticales. Por lo tanto, el diseño paramétrico se enfocará en este producto. Se ha revisado las máquinas con las cuales cuenta en promedio un laboratorio de fabricación, según (FabLab, 2021) y (Herrman, 2014) por lo tanto las máquinas que se usará será una cortadora láser y una impresora 3D de filamento.

Se procede a diseñar el objeto en la aplicación web BlockScad como lo muestra la *Figura 1*. Una vez determinada las variables se traslada de programación de bloques a una programación por código en el programa OpenScad como lo muestra la *Figura 2*.

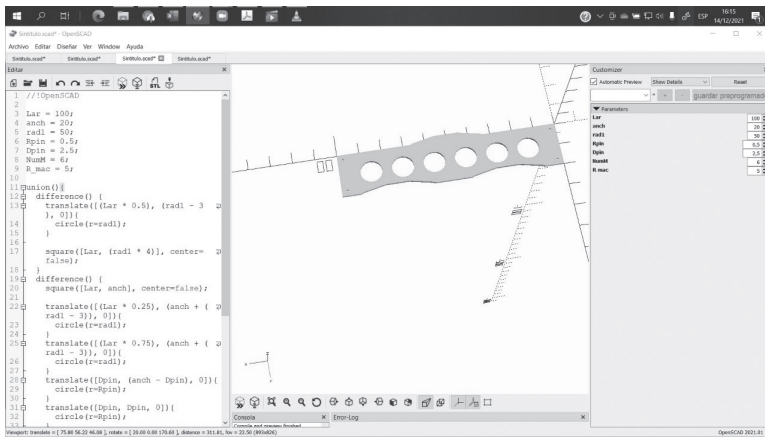
Las variables que son modificables son la ubicación de los pines de sujeción, el ancho y largo total, el número de perforaciones para las macetas y el diámetro de ellas. El mismo proceso se lleva a cabo para las piezas verticales que serán fabricadas en madera mediante el proceso de corte láser.

El mismo método de diseño se utilizó para el objeto 3D, en el cual las variables posibles a editar son el ancho de la tabla, la ubicación y grosor de los pines además del tamaño general del objeto. Una vez diseñado el producto se procede a generar el comando de códigos en el programa PrusaSlicer como se muestra en la *Figura 3*.

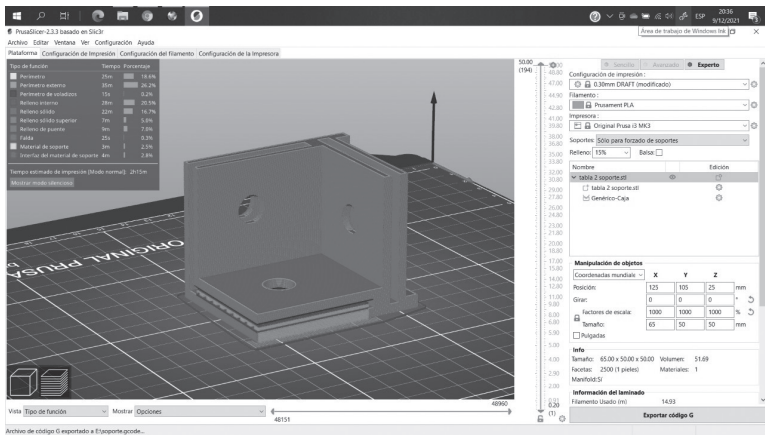
El diseño fue pensado para que al momento de ensamblar el objeto final no requiera de elementos extras de fijación por lo tanto, los pines de sujeción también son parte del diseño y son modificables según lo requiera el usuario. En la *Figura 4* podemos observar un prototipo ya ensamblado el cual fue realizado con PLA verde en impresora 3D y madera triplex de 3 mm.



1



2



3

Figura 1. Programación en BlockScad
Figura 2. Programación en OpenScad
Figura 3. Objeto 3D programa PrusaSlicer.



Figura 4. Ensamble prototipo.

La huella de carbono es la metodología usada para la estimación de la emisión de los gases de efecto invernadero pues considera dos tipos de emisiones: directas e indirectas. Se consideran como emisiones directas a las que se generan por el uso de energía que se ha transformado producto de la combustión como, por ejemplo: automóviles, quemadores y calderos. Por otra parte, las emisiones indirectas son las generadas por el uso de energía eléctrica a la cual se le aplica un coeficiente conocido como factor de emisión, el cual varía su valor dependiendo de su fuente de transformación de energía (hidroeléctrica, térmica, solar) (Organización Internacional de Normalización, 2018).

En la *Figura 5* se muestra la diferencia entre los factores de emisión de Ecuador (0.1917 kg CO₂eq / kWh) (Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero, 2020) y China (0.62 kg CO₂eq / kWh) (Lima, Toledo, & Bourikas, 2021).

Esto se debe en parte a que en Ecuador la principal fuente de generación de energía eléctrica es la que proviene de centrales hidroeléctricas con cerca de 76% del total (International Energy Agency, 2022), por otra parte, China tiene como principal fuente de producción de electricidad centrales térmicas cuyo combustible principal es el carbón (International Energy Agency, 2022). En la *Figura 6* se muestra un gráfico comparativo entre estos dos países.

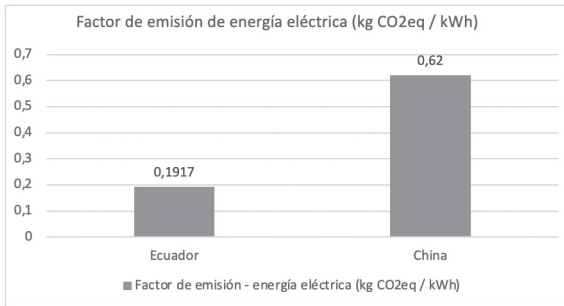
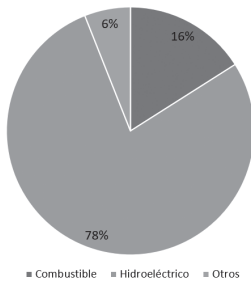


Figura 5. Factor de emisión de energía eléctrica Ecuador vs China.

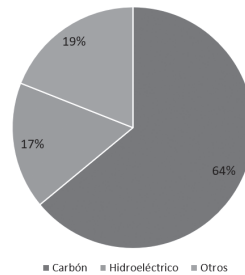
Figura 6. Fuentes de generación de energía eléctrica en China y Ecuador.

5

Fuentes de energía eléctrica en Ecuador



Fuentes de energía eléctrica en China



6

Resultados

Para el presente estudio se procedió a identificar las principales actividades en el proceso de fabricación de un mobiliario para jardín vertical con parámetros ajustables por parte del usuario. Para la fabricación se utilizó una impresora 3D doméstica de la marca Prusa para imprimir 4 vértices y 12 pines del modelo en estudio. Adicionalmente se utilizó una cortadora láser de potencia de 300W para obtener 2 tableros y 8 patas a medida.

En la tabla 1 se muestran los consumos de ambas máquinas utilizadas, el tiempo usado por cada una y los kilogramos de CO₂ equivalentes en consideración al consumo eléctrico que tiene la maquinaria tanto en Ecuador como en China.

Tabla 1. Dióxido de carbono equivalente emitido en escenarios de Ecuador y China

Elementos fabricados	Equipo	Consumo (kWh)	Horas de uso	kg CO ₂ eq Ecuador	kg CO ₂ eq China
4 Vértices + 12 Pines	Impresora 3D	0.10	5.00	0.096	0.310
2 Tableros + 8 Patas	Cortadora Láser	1.35	0.35	0.091	0.293
TOTAL				0.186	0.603

La fabricación de este objeto tiene un consumo de 0.186 Kg Co₂ eq hecho en Ecuador, mientras que el mismo objeto realizado por los mismos procedimientos en china tiene un consumo de 0.603 KgCo₂ eq en China. Lo que triplica la contaminación generada al ambiente pese a que es el mismo producto, con los mismos procesos pero depende del método en el cual se basa cada país para la generación eléctrica.

Conclusiones

- El diseño paramétrico de un objeto mediante programación y determinación de variables permite modificar las dimensiones del objeto según las necesidades del usuario de una manera fácil, sin contar con un conocimiento previo en programas de diseño.
- Debido a la facilidad en la modificación dimensional de los objetos el usuario tiene la libertad de elegir el tipo de madera, grosor y característica que desee, de igual manera en los soportes impresos en 3D se podrá variar el tipo de material o color a utilizarse.
- Las emisiones de CO₂eq son 3.23 veces más altas en una producción de iguales condiciones en China a comparación de Ecuador, esto debido a que China tiene una generación energética basada en la quema de carbón y en Ecuador su mayor generación energética es mediante hidroeléctricas.
- En el caso de mobiliario básico, el impacto que genera el comprar estos productos de origen y fabricación extranjera genera un mayor daño al medio ambiente, siendo estos fácilmente reemplazados con fabricaciones locales y con diseños libres de fácil modificación.

Bibliografía

- Arroyo, F., & Miguel, L. (2019). Analysis of energy demand scenarios in Ecuador: National government policy perspectives and global trend to reduce CO2 emissions. *International Journal of Energy Economics and Policy*.
- Baena, M. E. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Patria.
- Barba, C. (2021). Factores que inciden en la implementación de técnicas de prototipado rápido en empresas dedicadas al diseño de mobiliario en Quito, Ecuador. *Universidad, ciencia y tecnología Vol 25*, 57-65.
- Bocchicchio, F., & Manuel, P. (2015). Fablab Creating a Culture of Innovation in Ecuador. *SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference*.
- Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de Gases de efecto invernadero. (2020). *Factor de emisión de co2 del sistema nacional interconectado de Ecuador*.
- Cruz del Castillo, C. (2014). *Metodología de la investigación*. Mexico: Patria.
- FabLab. (2021). Recuperado el 23 de 02 de 2022, de <https://www.fablabs.io/>
- Fekry Gamal, D. (2021). Concept of Circular Economy in Eco-Friendly Furniture Design. *Design Sciences and Applied Arts*, 80-89.
- Guitierrez, G., Jimenez, F., & León, C. (2018). Herramientas multifuncionales de manufactura asistida de bajo costo para micro y pequeñas empresas. *Ingeniería Mecánica y Mecatrónica*, 145-153.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Herrman, J. (2014). *FabLab: Of Machines, Makers and Inventors*. Berlin.
- International Energy Agency. (2022). *IEA - China*. Obtenido de <https://www.iea.org/countries/china>
- International Energy Agency. (2022). *IEA - Ecuador*. Obtenido de <https://www.iea.org/countries/ecuador>
- Jin, Y. (2021). Comparison of potential Co2 reduction and marginal abatement costs across in the China and Korea manufacturing industries. *Journal of Innovation and Knowledge*.
- Kintel, M. (2018). *OpenScad*. Obtenido de <http://files.openscad.org/mm.pdf>
- Leen, D. (2021). *Unitless Fabrication*. Belgica: University Hasselt.
- Lima, G., Toledo, A., & Bourikas, L. (2021). The role of national energy policies and life cycle emissions of pv systems in reducing global net emissions of greenhouse gases. *Energies*.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Kyoto.
- Navarro, J. (2013). Los jardines verticales en la edificación. *Universidad Politecnica de Valencia*.
- Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 14067:2018 Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación*.
- Rhonmer, W. (2019). Gases de efecto invernadero por generación de electricidad en usuarios no residenciales de Venezuela 2006-2017. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*.
- Rivera, M., & Pilicita, D. (2019). Estudio de factibilidad para el diseño y montaje de un laboratorio de fabricación digital para la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial de la Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador: Universidad Central.
- Wassim, J. (2013). *Parametric Design for Architecture*. Gales: Laurence King.

Abstract: The carbon footprint measures the impact of climate change when goods or services are created or given. According to International Energy Agency data, the consumes of tons of carbon dioxide equivalent about the transport around the world has been duplicated in the last 30 years. According with the third National Communication of Ecuador about climate change, around 30% of the energy consume comes from ground transportation of light and heavy cargo. Nowadays the manufacturing of goods principally is focused in made products designed and made centrally, that means all is made a unique place and lately is marketed and distributed around the world until the final client. The advance of CAD and digital fabrication let it that in each city exist fabrication laboratories, as well as in the academies, these laboratories, also known as Fablab, are being implemented. These allow having machines available to make the final product without the need for it to be exclusively produced in a specialized factory and without generating additional emissions due to the transport of the same product from another region or country. For the present study, the open-source software “OpenScad” was used, which allows the generation of code files which are interpreted in 2D and 3D maps. The generated files can be easily replicated and in the same way it allows the variables to be edited to modify the appearance of the product. A vertical garden was chosen as a product, whose editable variables are diameter and number of pots, general dimensions of the furniture and its coupling form. It is concluded from this research that a viable alternative to reduce CO2 emissions and environmental impact is to focus on the digital distribution of product design, considering its easy replicability in local manufacturing laboratories.

Keywords: Digital Fabrication - Carbon footprint - Fablab - Energy consumption - Parametric Design.

Resumo: A pegada de carbono mede o impacto da mudança climática quando bens ou serviços são criados ou fornecidos. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia, o consumo de toneladas de dióxido de carbono equivalente sobre o transporte ao redor do mundo tem sido duplicado nos últimos 30 anos. De acordo com a terceira Comunicação Nacional do Equador sobre a mudança climática, cerca de 30% do consumo de energia provém do transporte terrestre de cargas leves e pesadas. Atualmente, a fabricação de mercadorias é focada principalmente em produtos fabricados de forma centralizada, o que significa que tudo é feito num lugar único e ultimamente é comercializado e distribuído ao redor do mundo até o cliente final. O avanço do CAD e da fabricação digital permite que em cada cidade existam laboratórios de fabricação, assim como nas academias, estes laboratórios, também conhecidos como Fablab, estão sendo implementados. Estes permitem ter máquinas disponíveis para fazer o produto final sem a necessidade de ser produzido exclusivamente em uma fábrica especializada e sem gerar emissões adicionais devido ao transporte do mesmo produto de outra região ou país. Para o presente estudo, foi utilizado o software de código aberto «OpenScad», que permite a geração de arquivos de código que são interpretados em mapas 2D e 3D. Os arquivos gerados podem ser facilmente replicados e da mesma forma permite que as variáveis sejam editadas para modificar a aparência do produto. Um jardim vertical foi escolhido como produto, cujas

variáveis editáveis são diâmetro e número de vasos, dimensões gerais dos móveis e sua forma de acoplamento. Conclui-se desta pesquisa que uma alternativa viável para reduzir as emissões de CO2 e o impacto ambiental é focar na distribuição digital do design do produto, considerando sua fácil replicabilidade em laboratórios de fabricação locais.

Palavras chave: Fabricação digital - Pegada de carbono - Fablab - Consumo de energia - Projeto paramétrico.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo]
