

Fecha de recepción: diciembre 2023

Fecha de aceptación: enero 2024

Versión final: febrero 2024

Ensamblajes digitales de madera: Embrión para un diseño de mobiliario sostenible

Víctor Armas Crespo ⁽¹⁾

Resumen: En los últimos años la fabricación digital se está convirtiendo en una herramienta de trabajo primordial para diseñadores. Dentro de lo que abarca esta tecnología, la producción digital se centra en las máquinas de control numérico. Su desarrollo y democratización es lo que ha ido permitiendo una mayor accesibilidad en diferentes ámbitos. La utilización de estas nuevas herramientas conlleva métodos de trabajo específicos que han de ser aprendidos por los usuarios para un máximo aprovechamiento. Estos métodos no solo agilizan enormemente los procesos de diseño sino que llevan implícitas pautas que son respetuosas con el medio ambiente y que no siempre son tenidas en cuenta. El objetivo de este manuscrito es dar a conocer los beneficios que aporta el uso de la fabricación digital en cuestiones de sostenibilidad. El ámbito de trabajo se centra en docencia para diseño de mobiliario.

Palabras clave: Mobiliario CNC sostenible - docencia mobiliario CNC - educación diseño tecnológico - ensamblajes digitales madera - diseño mobiliario CNC - estrategias diseño sostenible

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 164-165]

⁽¹⁾ **Víctor Armas Crespo.** Arquitecto por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Máster en Arquitectura Biodigital por la Universidad Internacional de Cataluña. Doctor en fabricación digital por la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Rey Juan Carlos por el programa de Artes y Humanidades. Profesor visitante en la URJC donde imparte docencia desde 2013 en el Grado de Diseño Integral y Gestión de la Imagen y en el Doble Grado en Fundamentos de Arquitectura y Diseño Integral, en las asignaturas de Diseño de Mobiliario, Maquetas y prototipos e Informática Básica. En el periodo de 2012 a 2019 compagina la experiencia laboral enmarcada en el mundo de los startups centrados en fabricación digital con docencia. victor.armas@urjc.es

Introducción

Durante las últimas décadas el desarrollo de técnicas en fabricación digital ha sido significativo. La democratización de las máquinas de control numérico ha permitido un aumento en el número de usuarios que puede incluir tanto a centros docentes como a modestos sectores industriales en auge. Las escuelas de diseño que quieran estar en la vanguardia en sus enseñanzas deben introducir las para ser oferta formativa competente. Estas tecnologías del presente van penetrando en el tejido industrial de numerosas empresas. La fabricación digital no es solo un capricho del presente, sino que lleva implícito en todo el amplio proceso metodológico de trabajo numerosos beneficios entre ellos los relacionados con la sostenibilidad. Dentro de las diversas máquinas existentes para la fabricación digital se quiere centrar en la fresadora CNC (Control Numérico por Computadora).

En este manuscrito se van a exponer los beneficios que trae la técnica desarrollada con la fresadora CNC de 3 ejes de cara a la sostenibilidad en la fabricación digital de muebles y particularmente gracias al uso de ensamblados digitales en lugar del uso de otros procedimientos para unir piezas (uniones reforzadas con colas, uniones con materiales diferentes, algunos plásticos, etc.). Esta comunicación es parte de la investigación de la tesis doctoral del autor que suscribe. Se trata de poner en común y divulgar unas técnicas que favorecen la sostenibilidad: (i) primero a través del uso de ensamblados digitales cortados con fresadora CNC de 3 ejes, (ii) usando como materia prima la madera procesada en tableros.

2. El principio de la sostenibilidad y la concienciación social

Tanto en relación con los aspectos creativos e innovadores del diseño de cualquier tipo, como en los aspectos docentes que se vinculan en este manuscrito, la óptica de la sostenibilidad como concepto transversal no es una opción, sino que la entendemos como una obligación tanto en diseño como en cualquier otra actividad cultural o científica. Los contenidos de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) afectan por principio de gobernanza internacional en cualquier disciplina o actividad humana (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>). La enseñanza universitaria se ve particularmente concernida al respecto; en lo que afecta al diseño se ha justificado ampliamente en las obras de Victor Papanek y Victor Margolin desde principios de los años sesenta del pasado siglo.

Los ODS se generan históricamente desde la segunda mitad del siglo XX. La evolución histórica puede estudiarse en páginas web como la anteriormente citada. Los que finalmente se describen en el sitio señalado son: 1 Fin de la pobreza, 2 Hambre cero, 3 Salud y bienestar, 4 Educación de calidad, 5 Igualdad de género, 6 Agua limpia y saneamiento, 7 Energía asequible y no contaminante, 8 Trabajo *décente* (justo) y crecimiento económico, 9 Industria, innovación e infraestructura, 10 Reducción de desigualdades, 11 Ciudades y comunidades sostenibles, 12 Producción y consumo responsable, 13 Acción por el clima, 14 Vida submarina, 15 Vida de ecosistemas terrestres, 16 Paz, justicia e instituciones sólidas, 17 Alianzas para lograr los objetivos.

Con estos objetivos se apuesta desde la ONU y otras organizaciones supranacionales por una nueva visión de la educación cuyo principal objetivo es transformar las actitudes de las sociedades humanas y se reconoce el papel primordial de la educación como motor para la consecución de los objetivos de la agenda 2030. Por ello queremos hacer mención expresa al ODS número 4 ya que uno más de los objetivos de este manuscrito es difundir unas técnicas dentro del diseño que permiten un sistema de producción más sostenible y que por no disponer todavía de una buena divulgación en textos y programas curriculares, es complicado encontrar a nivel de docencia. Y dentro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, son principalmente 6 de ellos, (subrayados más arriba) los que están afectados en este texto.

Adicionalmente queremos aludir a un texto clásico, y centrado más en producción y ecologismo, que se llama *Cradle to Cradle: Remaking the way we make things* (Braungart & McDonough, 2002), del químico-ecologista alemán y exmiembro de la organización mundial Green Peace, y reutilización Michael Braungart y del arquitecto-paisajista estadounidense, William McDonough.

Pese a que esta obra ya posee 20 años, para nosotros supuso una aportación de ayuda en docencia para sostenibilidad. Se centra en el diseño de producto, se dan pautas para conseguir atajos que tratan de mitigar o ralentizar efectos negativos de los materiales que se usan, consecuencias sobre el sistema de producción instaurado, etc. Pero además la obra puede ser utilizada en relación con todos los conceptos que minimizan la huella ecológica de las distintas fases de extracción, procesamiento, utilización, reciclaje, reutilización. Focalizan los autores en la potenciación de la regla de las tres erres: reducir, reutilizar, reciclar que hoy sigue estando plenamente vigente.

3. La sostenibilidad en la producción de mobiliario

Se procede a poner de manifiesto la influencia que tienen algunas de las principales decisiones que se toman para poner en marcha la fabricación de un mueble. En particular para fabricar un mueble más sostenible trabajando con máquinas digitales como la fresadora CNC que permite minimizar la huella ecológica en diferentes criterios. En los epígrafes posteriores se trata de discutir estas aproximaciones.

Previamente vamos a introducir algunas reflexiones generales sobre las características de la fabricación industrial actual que no solo afectan a la fabricación digital y que afectan a la sostenibilidad. La intención es destacar que, con determinados materiales o procedimientos, y utilizando la fresadora CNC de 3 ejes, algunos efectos negativos de huella ecológica pueden ser mitigados. Y es importante que la sociedad sea consciente de ello en todos sus niveles organizativos. La educación superior, y en particular maestros y aprendices, han de interiorizarlo para cuanto antes poder trabajar en la consecución de los ODS y con las normas generadas en los últimos tiempos por las organizaciones nacionales y transnacionales.

La *globalización* <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mondialisation> –concepto de origen francés, que tiene hoy distintos consensos lexicográficos en varias lenguas– que, en la

producción de diseño, como en otros campos industriales, ha propiciado la deslocalización debida a una fragmentación o separación espacial –lo más frecuente por países– de las distintas fases del diseño. Una consecuencia de este tipo de organización globalizada de la actividad es que en nuestro campo suele/puede ocurrir que el diseñador tiene la idea, pero pierde todo el control sobre el proceso posterior de producción, introduciéndose factores externos en la cadena que pueden ir *contaminando* el producto final. Todavía es común diseñar o idear un producto en Europa y aplicarle una técnica de fabricación más económica, por ejemplo, derivando a Asia la fabricación y, una vez terminado el proceso de producción, traer todas las copias de ese producto nuevamente a Europa. Posiblemente el producto final será más rentable económicamente pero mucho más costoso en relación con su huella ecológica si contabilizamos los costes energéticos del transporte. Adicionalmente esta forma de producción entra en otra contradicción cuando ocurren circunstancias no previstas en el modelo actual de globalización de las cadenas productivas. Sirve de ejemplo la dramática situación de falta de productos o materiales sanitarios que sucedió en los inicios de una pandemia como la del Covid-19. La deslocalización del proceso productivo y la independencia de las fases de fabricación de un producto, cada vez más, deben de considerarse con atención. El marco de la sostenibilidad abarca este tipo de consideraciones y en buena parte justifica replanteamientos de la economía conducentes a desarrollar la industria y capacidad de producción *in situ*; es decir, en el entorno organizativo local o regional. A este respecto se pronuncia la ONU en relación con el ODS 9 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/> Anecdóticamente y sin apoyar una opinión que hoy habría que contextualizar, en tiempos previos a la Bauhaus preocupaba el cambio en la cualidad de los productos por la aparición de máquinas, conduciendo, según señaló Carlo Argan, a “[una]pérdida de espiritualidad del modo de hacer artísticos y a una alarmante decadencia de la cultura y del gusto” (Wick, 1982, pg 20).

4. Materiales para la configuración de un mueble

4.1 La madera

Se tratará en este epígrafe, aspectos de sostenibilidad relativos a la madera como materia prima. La madera, configurada en tableros es el material que se está utilizando frecuentemente en la producción de mobiliario para docencia. Entre las diversas aportaciones del científico especialista en ingeniería de la madera, Uysal (2014), precisamente en su Tesis Doctoral, se alude a que la madera es un material natural y renovable, sencillo de encontrar, de extraer y de moldear; siendo, desde tiempos remotos, el principal material para fabricar muebles. Se podría completar que esto es así en los países del planeta donde la madera se produce de forma natural o en cultivos sostenibles. Gracias a los avances en la técnica, en la fabricación de muebles se ha pasado de una producción manual a una industrializada en serie. La madera para mobiliario puede ser utilizada directamente o

procesada con diferentes técnicas industriales como son las variadas ofertas de tableros como los que se utilizan en docencia.

La madera, posee un gran número de particularidades físicas, que son interesantes de conocer para poder escoger la más adecuada según los distintos proyectos de mueble. En cuanto a la estructura celular de la madera misma, en sus cualidades influye la dirección de sus fibras u otras células, donde las longitudinales -fibras propiamente dichas- son las dominantes (Hoadley, 2000), siendo más débiles al corte siguiendo su longitud mayor y más fuerte en la dirección perpendicular al crecimiento de la fibra. De esta configuración depende y, por ella se determina, la trabajabilidad o comportamiento de la madera al ser perforada, cortada, cepillada, lijada, moldeada o doblada (Postell, 2012). También estas características dependen de si el material es extraído de árboles de madera dura o de madera blanda, es decir, hay una correlación con las distintas especies arbóreas madereras. Debido a que para trabajar este material con fresadora CNC de 3 ejes es necesario tener los elementos configurados en tableros, no se va a seguir profundizando en las características específicas de la madera y sus especies puesto que al procesar en tablero cambian la mayoría de ellas.

Hay todavía escasas investigaciones que estudien las condicionantes de las maderas para ser usadas con criterios de sostenibilidad en la fabricación digital de mobiliario, pero se recomiendan y se comentan brevemente dos artículos básicos en este sentido. Se trata de los artículos de Linkosalmi et al. (2016) y de Geng et al. (2019).

El artículo de Linkosalmi et al. (2016) está restringido al ámbito regional de Finlandia, lo cual importa mucho cuando se plantean discusiones en torno a la sostenibilidad -p. ej. Finlandia según sus previsiones, será el primer país en abandonar definitivamente el carbón para producir energía-; los propios autores advierten la singularidad local de su país y por otro lado también acusan la dificultad de comparar datos de sostenibilidad a nivel general por lo que los manejados en este trabajo, muestran una relativa falta de homogeneidad. En su descargo, establecen con rotundidad que incluso en el campo científico se está todavía en los inicios de la aplicación de la sostenibilidad como principio por lo cual la dificultad de subordinar los productos y procesos más sostenibles a la actividad económico empresarial es una tarea difícil y por definir en muchos aspectos. A pesar de lo anterior los autores concluyen, de forma general, lo siguiente:

- Las materias primas y los componentes tienen el mayor impacto en las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (38,4-90,1 por ciento).
- La participación de la logística es baja (0,2-4,8 por ciento) en la fase de producción, pero el transporte de componentes al exterior aumenta esta participación.
- Existe potencial para la mejora de la huella ecológica de los procesos de producción en el proceso de acabado -piezas de metal y de madera-.
- La complejidad de la fabricación de mobiliario crea desafíos para la evaluación del ciclo de vida del propio mueble.
- Las fuentes de energía tienen un impacto significativo en las emisiones de GEI de la etapa de producción, el cambio a fuentes de energía renovables y de baja emisión disminuirá las emisiones de GEI de la producción de muebles.
- El almacenamiento de carbono biogénico, como es la madera, reduce significativamente las emisiones de GEI.

La investigación reciente de Geng et al. (2019) confirma las afirmaciones anteriores y recomienda la sustitución progresiva en el corto y medio plazo de materiales intensivos en la emisión de GEI. Es interesante señalar que el trabajo de Geng et al. está realizado en China que es el principal productor de muebles del mundo y que, aunque manteniendo posiciones contradictorias en 2021, es firmante del acuerdo climático global de París (2016) para reducir sus emisiones de CO2.

En consecuencia, hasta el momento presente se puede afirmar, aunque con la prudencia necesaria, que hay un consenso amplio en sostener que la madera y o sus derivados se recuperan como el material más recomendable en términos de sostenibilidad comparándolos con otros elementos que puedan ser más baratos o mejor situados en los actuales circuitos del proceso industrial. Del estado actual de las investigaciones y a falta de mejores datos, en lo que se refiere a la fabricación de muebles, parece que por ahora es la madera el material reseñado como el de mejor efecto mitigador frente al cambio climático. A título puramente anecdótico, y aunque es difícil predecir la longevidad del mobiliario de oficina, construidos en materiales diversos no primordialmente en madera, Besch, concluye que la media de servicio de estas piezas es de 12 años (Besch, 2005, como se citó en Linkosalmi et al. 2016). Un parámetro que hay que tener en cuenta en las valoraciones de sostenibilidad es el mantenimiento del mobiliario, porque algunos precisan tanto de limpieza como de aplicar acabados costosos regularmente, cuando otros al contrario no precisan de nada especial. Normalmente, los materiales a base de madera o plástico se incineran al final de su ciclo, y esto contribuiría a sustituir combustible fósil, aunque ambas combustiones emiten gases contaminantes.

Como se verá, los materiales en madera y, sobre todo, aquellos de madera procedente de cultivos arbóreos, son idóneos para tratar de reducir la emisión de GEI. Muchos estudios han respaldado el potencial que tienen los bosques gestionados de forma sostenible, en la mitigación del incremento del CO2. Según la Asociación Nacional de Mobiliario de China, en 2012 se produjeron 696.49 millones de piezas de mobiliario, cuyo 35,57%, era en madera (Geng et al. 2019), por lo que hay un amplio margen que hace posible contribuir a mitigar los grados de contaminación de forma eficaz.

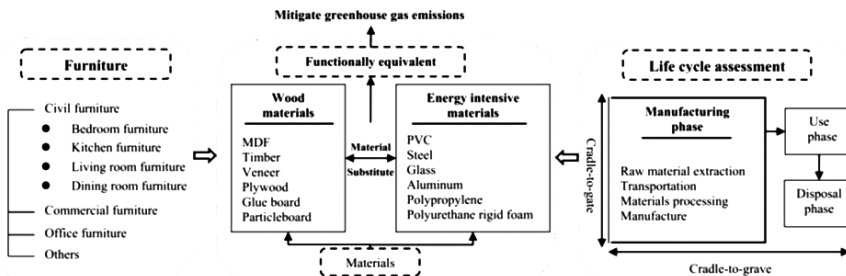


Figura 1. Marco para evaluar los efectos de sustitución de la madera en mobiliario. Geng et al. 2019.

La unidad de medida utilizada es el kg CO₂eq/kg para cada material. Así es que tenemos que, por ejemplo, para acero, es 2.6; para vidrio, 2.18; para PVC, 4.65; para aluminio, 29.85; y, para madera, 0.29. Y, dentro de los distintos productos derivados de la madera, tenemos los tableros de: contrachapado, 0.745; alistonado, 0.547; partículas aglomeradas, 0.405; y MDF, 1.225.

Por lo tanto, en términos de sostenibilidad, se ve una espectacular diferencia entre usar un tipo de material u otro en cuanto a su producción, siendo el aluminio el material más emisor, y los tableros de partículas, los menos –algo inferior a 75 veces menos contaminantes–. Y, dentro de la producción de madera, la más emisiva es MDF. Según estimación propia (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>) la cantidad de CO₂ emitida por una silla construida íntegramente en acero (2,6 kg CO₂eq/kg) es equivalente a la cantidad del mismo gas emitido por un automóvil con combustible diésel recorriendo unos 250 kms de distancia –de Madrid a Zaragoza–.



Figura 2. Lo que contamina una silla metálica. Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

La European Furniture Manufactures Federation (UEA) constata que, en la producción de mobiliario, un 26% de los materiales que se utilizan son de madera o basados en ella. En cuanto a la propia madera se han detectado varios datos de interés, por una parte, Uysal (2014), afirma que, durante la producción de materias primas, el proceso de fabricación y el de eliminación de los muebles son uno de los principales factores de problemas medioambientales. Pero, Iritani et al. (2015), también consideran que, la etapa

de producción del suministro del material y la etapa de distribución de los productos son las que generan mayor contaminación.

Siguiendo con Linkosalmi et al. (2016), cuando el término sostenibilidad no estaba consolidado, el Ecodiseño y la “mentalización” para el mismo que se denomina *Eco-designthinking* son marco de referencia conceptual actuando transversalmente en las actividades que se han desarrollado en docencia enfocado a diseño de mobiliario, especialmente en las experimentales en relación con la selección de materiales. Estos desarrollos son posibles si se tienen las herramientas necesarias, como es la información precisa en lo referido al impacto medioambiental de los materiales que se usan (Bovea and Vidal, 2004; Çinar, 2005; Bovea and Gallardo, 2006; González-García et al., 2011, 2012; Lanoë et al., 2013; Mirabella et al., 2014, como se citaron en Linkosalmi et al. 2016).

4.2 Contrachapado

Hasta este momento hemos hablado de la madera como materia prima y se han esbozado algunas características generales de este material. La madera, sin embargo, a la hora de ser utilizada en la fresadora tiene una serie de limitaciones que se aluden en (Armas-Crespo, 2023a) que restringen su manejo. La máquina fresadora requiere que el material tenga el mismo espesor en todos sus puntos y garantizar una superficie lisa y horizontal. Por ello es necesario precisar que en cuanto a las condiciones de humedad en la madera hay variaciones que generan diferentes dimensiones (+/- 1 mm) que tanto en tableros como en madera no procesada deben ser consideradas en cada pieza que se corta (Filson et al., 2017). El contrachapado se ofrece como un material mucho más económico puesto que incrementa el volumen en relación con las piezas de madera. Sin embargo, en cuanto a su producción el contrachapado es un producto industrial y no un producto forestal siendo por tanto menos sostenible en este aspecto. Aunque no hay estudios precisos puede suponerse que usar madera virgen o usar contrachapado en términos generales compensan ventajas e inconvenientes y la elección puede ser tomada en función de otras características del mueble que se busca. La propia evolución tecnológica de las formas de obtener y procesar la madera para contrachapado ofrece nuevas soluciones a la carta. Y tampoco puede olvidarse que la conservación de la biodiversidad es un aspecto que hay que tener en cuenta en el caso de las maderas nobles y las de especies amenazadas o protegidas se preservan mejor manteniendo los contrachapados que explotando de manera extensa directamente la madera.

Principalmente por estas razones se consideran los contrachapados, una de estas configuraciones de materiales ideales para trabajar con este tipo de maquinaria CNC, como se ha indicado en las fuentes bibliográficas recogidas en (Armas-Crespo, 2023a).

4.3 Adhesivos

Otro componente que es necesario analizar, son los adhesivos que se utilizan para la configuración del tablero. Los primeros adhesivos que surgen son de origen vegetal y animal.

Debido al desarrollo tecnológico en el siglo XX, los adhesivos para madera pasan de ser, polímeros orgánicos naturales, a polímeros sintéticos más duraderos, fuertes y resistentes al agua, debido a que se le añadieron materiales químicos activos e inertes, que propiciaban estas propiedades solventes y específicas, que ayudan al control de la penetración del adhesivo en las fibras de la madera y a su humectabilidad.

Profundizando en este componente, para poder unir materiales compuestos de madera, se requieren resinas adhesivas que se terminan de endurecer con el calor, tales como: melamina urea formaldehído (MUF), fenol-formaldehído (PF) o urea-formaldehído (UF). Las PF se suelen utilizar para tableros aglomerados de baja emisión de formaldehído, tableros de virutas orientadas (OSB) y tableros contrachapados, ya que entre sus características destacan una alta fortaleza ante resistencia tanto en ambientes secos como húmedos y son más resistentes a las altas temperaturas y al envejecimiento químico. El resto de los adhesivos mencionados se utilizan para otros tratamientos y productos. Es importante diferenciar entre adhesivos curados, como los señalados, y los que no lo están, puesto que son dañinos para la salud y requieren precauciones de seguridad. Así y todo, las resinas UF y PF citadas, pueden liberar, en ciertas condiciones de humedad y calor, bajas concentraciones de gas formaldehído que, en espacios interiores, pueden provocar inflamación, irritación y, a largo plazo, resultar cancerígenos (Postell, 2012).

Debido a estos descubrimientos posteriores, se ha ido investigando para formular otras alternativas para nuevos adhesivos, de emisión ultra baja, conocidos como ULEF, y los adhesivos NAF, sin formaldehído y, en su lugar, Isocianato, poli acetato de vinilo o soja. Curiosamente durante la década de 1970 se utilizaban, de forma generalizada, adhesivos de base biológica que, al reemplazarse por otros más resistentes, con el tiempo se ha descubierto la nocividad de estos que eran más resistentes (Postell, 2012). Actualmente, en esta búsqueda de mayor sostenibilidad medioambiental, se vuelve a mostrar un interés en el desarrollo de adhesivos de base biológica, surgiendo resinas a base de proteína de soja que consiguen durabilidades parecidas a las PF, o también sistemas derivados de unos compuestos fenólicos naturales y presentes en la corteza de algunos árboles (Ross, 2010), como los presentes en la lignina o taninos.

4.4 Acabados

Conviene advertir que el acabado es otra de las fases menos sostenibles de la producción de un mueble, como ya se vio más arriba en Linkosalmi et al. (2016). Los acabados se encargan de proteger las superficies de la madera y de ahí depende en parte la longevidad del mismo. En el acabado es importante el secado y también la aplicación de productos superficiales aislantes. El secado en sí mismo es que un proceso muy demandante de energía, pero es igualmente crítico de cara a la sostenibilidad tener en cuenta las características de los productos aislantes que se aplican.

En este último aspecto es relevante saber con certeza si los compuestos presentes en cualquier producto de acabado pueden liberar al aire unas sustancias contaminantes llamadas VOC, o compuestos orgánicos volátiles. La atmósfera de un espacio interior suele ser cálido y húmedo, beneficiando así la evaporación de estas sustancias químicas orgánicas,

constituidas a base de carbono, de origen natural o sintético. Se encuentran presentes, sobre todo, en los acabados que, una vez secadas y curadas las superficies, comienzan a reaccionar en las condiciones mencionadas, resultando contaminantes para el aire y medio ambiente en general, y perjudicando la salud cuando estos espacios son cerrados (Postell, 2012; Ross, 2010). Estos efectos se toman en consideración, desde 1990 cuando, ya descubiertos por el desarrollo de la química ambiental, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos, establece la Ley del Nuevo Aire Limpio, que exige a las empresas reducir la cantidad de VOC en sus producciones. Como consecuencia de ello, se dejaron de producir muchos de los acabados tradicionales. Se están reformulando manufacturas que contienen más sólidos, aditivos no tradicionales, nuevos solventes y cosolventes que forman películas en la superficie de la madera que no penetran en el material (Ross, 2010); todo ello con el objetivo de producir nulas o bajas emisiones de VOC. En nuestro trabajo en docencia con la fresadora, se utilizan productos de base biológica o simplemente acuosa, siempre tratando de evitar los compuestos orgánicos volátiles (VOC). Alternativamente en los últimos tiempos continuando con la búsqueda de los materiales más sostenibles se está ensayado, con aparentes resultados positivos un tratamiento a base de jabón, elaborado para nuestra experimentación por la Dra. Marta Muñoz del departamento de materiales de la URJC.

5. Regulaciones

Otra cuestión que debe tenerse en cuenta, a la hora de la elección del material, o, de la configuración del mueble, son las regulaciones y certificados medioambientales en países como España que es donde se sitúa este estudio. Con el objetivo de prolongar la vida útil y permitir las mejores opciones de retirada y desechado, las regulaciones medioambientales, buscan la competitividad y calidad de los productos. Entre ellas se encuentran:

- Normativas ISO. Entre ellas, la ISO 14040 se relaciona con regulaciones ambientales y las huellas de carbono relativas al análisis de ciclo de vida de un producto (LCA).
- Directiva 1999/13/CE, relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles por el uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones, que pueden contaminar las aguas y la atmósfera. Esta Directiva fue modificada por la Directiva 2004/42/CE, relativa a la limitación de las emisiones de COV debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos. Finalmente, aquella Directiva 1999/13/CE, fue derogada por la Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).
- Forest Law Enforcement Governance and Trade (FLEGT). Plan de Acción de aplicación de las leyes de gobernanza y comercio forestal. Es emitida por la UE desde 2003 como instrumento de lucha contra la tala ilegal y el comercio de madera obtenida ilegalmente.
- Reglamento UE 995/2010, de 20 de octubre de 2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera. Reglamento de la Madera de la UE, que exige a los fabricantes desde 2013, a demostrar que su madera

o productos de madera no han sido extraídas mediante prácticas de aprovechamiento ilegal, mediante las Declaraciones Ambientales de Producto o DAP, que evalúan el impacto medioambiental total del producto o material.

Estas normas europeas tienen su transposición en normas españolas, y son las siguientes:

- Real Decreto 1088/2015, de 4 de diciembre, para asegurar la legalidad de la comercialización de madera y productos de la madera. Para la aplicación en España del Reglamento EUTR. Contiene la información mínima de la declaración responsable que deben cumplimentar y comunicar anualmente los agentes que comercialicen madera o sus productos derivados, y se presenta antes del 31 de marzo de cada año. Y para su coordinación en toda España, está el Plan Nacional de Control de la Legalidad de la Madera Comercializada, de 20 de junio de 2022.
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (modificada por la Ley 21/2015, de 20 de julio), para que en los procedimientos de contratación pública se adopten las medidas oportunas para evitar la adquisición de madera y productos derivados, procedentes de talas ilegales de terceros países, y favorecer la adquisición procedente de los bosques certificados.

El sistema de protección medioambiental creado es el del ecoetiquetado, para informar y proteger a un consumidor, certificando que un producto es ambientalmente eficiente, de calidad y seguro. Si bien, como quiera que en la década de 1980 comenzaron a surgir numerosas etiquetas privadas como forma de dar solidez al producto, para evitar fraudes, se pusieron en marcha, programas nacionales de etiquetado. Y los tres objetivos principales de estas etiquetas son: (1) animar a las empresas a innovar y mejorar medioambientalmente sus productos, ofreciéndoles el reconocimiento oficial de la excelencia de los mismos, por parte de un tercero. (2) Proporcionar a los consumidores información fiable sobre los beneficios ambientales de los productos, con el fin de sensibilizarlos y promover un consumo de productos más respetuosos con el medioambiente. (3) Y mejorar, en definitiva, la sostenibilidad de los productos y los patrones de consumo (Iraldo et al., 2020). Actualmente existen en todo el mundo más de 50 sistemas de certificación forestal. Uno de los sellos más comunes a nivel mundial, y de España, por su presencia mayoritaria en el mercado, es el conocido por las iniciales en inglés PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) <https://pefc.org/> es el Programa para el Reconocimiento de Certificación Forestal. Como bien se describe en su propio material divulgativo, es el sistema de certificación forestal privado más implantado en el mundo a escala global. Como organización no gubernamental sin ánimo de lucro, trabaja para asegurar una sostenibilidad forestal con perspectiva local que genere beneficios en todos los sentidos. Trabajan para asegurar que los bosques sean gestionados de forma responsable y que su multitud de funciones estén protegidas para generaciones presentes y futuras. Para poder cumplirlo, cuentan con la colaboración de propietarios y empresas del sector forestal, que apuestan, por la certificación de la gestión sostenible de sus bosques, y de la cadena de custodia de sus industrias; ambos, contribuyen al desarrollo del sector.

Actualmente, en España, hay cerca de 2,5 millones de hectáreas de bosques certificados PEFC, de un total de 14,5 millones de hectáreas de zonas arboladas y que integran más de

44.000 propietarios y gestores. A nivel mundial, hay 325 millones de hectáreas, y el 75% de todos los bosques certificados a nivel internacional, están certificados con el sistema PEFC. (Fig.3)

El siguiente sello relevante, a nivel mundial, es el Forest Stewardship Council o, FSC <https://es.fsc.org/es-es> Una organización no gubernamental, independiente, que también promueve la gestión responsable de los bosques del mundo, y cuyo programa de certificación forestal es el más conocido, con más de 113 millones de hectáreas de bosques distribuidos en 79 países. Este sello permite rastrear el bosque certificado del que proviene el producto, la sostenibilidad y credibilidad de la cadena de suministro, y el cumplimiento de los estándares FSC en la gestión responsable de las tierras forestales, en términos medioambientales, sociales y económicos (Ross, 2010; Uysal, 2014). Este sello está destinado a materiales de la madera y sus derivados, como contrachapado y el papel, y de otros derivados forestales, pudiendo ser estampado en productos que los utilicen. También verifican que no se dañe el buen funcionamiento de los procesos de los ecosistemas naturales, como biodiversidad, agua, suelo, carbono y ocio.

FSC y PEFC persiguen el mismo objetivo, y su diferencia principal es que PEFC es promovido por el sector privado y, el FSC, por Greenpeace y World Wide Fund for Nature (WWF). Ambas son compatibles con otras normas de sistemas de gestión. (Fig. 4)

El Sustainable Forestry Initiative, o SFI, <https://forests.org/> es otro de los sellos importantes a nivel mundial, pero solo certifica terrenos en los Estados Unidos y Canadá. En 2005, PEFC reconoció el estándar SFI. El programa certifica más de 115 millones de hectáreas de bosques en Estados Unidos y Canadá evaluando la planificación, procedimientos y procesos que tienen lugar en el bosque, así como las operaciones de procesamiento de la madera. (Fig. 5)



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

Por todo lo descrito, cuando se compra una madera con este tipo de sellos, estaremos contribuyendo a conseguir unos objetivos de sostenibilidad contrastados puesto que están verificados mediante dichos certificados. Por lo tanto, de no solicitar estos sellos no se cumplirían los estándares de sostenibilidad que se pretenden. Y, en caso de no tenerlo, querrá decir que esa madera no ha sido manufacturada bajo estándares específicos que se han de exigir para trabajar con un producto sostenible. Comprando una madera de un proveedor cualquiera, sin sellos, se puede estar incurriendo en ilegalidades o sufriendo riesgos como el de la mala calidad de la madera por manufactura sin procesos de calidad,

posible violación sobre derechos de trabajo justo en el lugar de manufactura o recogida de materia prima; talas ilegales en bosques no controlados, destruir la biodiversidad de bosques, etc. En consecuencia, sea como diseñador o sea como consumidor de un producto de madera, se debería ser responsable exigiendo que dicho producto tenga esas garantías mínimas, contribuyéndose con ello, como un eslabón más, de la cadena del diseño a una mayor sostenibilidad.

Tras conocer los beneficios que, en cuanto a sostenibilidad, proporciona el uso de la madera con sellos de calidad, se va a contrastar, a su vez, esa sostenibilidad en el uso de las CNC. Se va a centrar dichos beneficios en los relacionados con la sostenibilidad y optimización de recursos.

6. Optimización de recursos

La digitalización de procesos repercute, directamente, en una optimización de recursos, pudiendo controlar cualquier parámetro que no se ajuste a unos estándares sostenibles. El mero hecho de tener el control digital, de manera localizada en cada fase, supone en sí una seguridad en el diseño, ya que cualquier error posible durante toda la cadena de creación es fácilmente subsanable en el momento y esto beneficia una producción eficaz. Además, con estos procesos digitales controlados, se es susceptible de implementar posibles mejoras, en cualquier momento de la manufactura, en el que se produzca una evolución en el diseño; ello sin complicados problemas de reajustes en los complejos sistemas industrializados de grandes producciones (Kumar et al., 2009). Esta optimización en las operaciones de fabricación se ha convertido en una necesidad apremiante para la sostenibilidad (Chandel et al., 2022), pero necesitan ser controladas y gestionadas por un operador experto (Lotti et al., 2019) y (Armas-Crespo, 2023b) quiere contribuir a la enseñanza con CNC como técnica de diseño para lograr ese conocimiento. En este tipo de tecnología, las morfologías curvas son tan fáciles de cortar como las que sean más ortogonales. Las estructuras tridimensionales complejas, son relativamente fáciles de producir, y el número de etapas en la maquinaria, que requieran la intervención de un operario, se reducen drásticamente (Tannert et al., 2008).

La evolución tecnológica de las máquinas de procesado de madera, han beneficiado esa posibilidad de crear uniones sólo en madera, de forma muy económica, y repercutiendo así en la creación de uniones entre piezas de manera más sostenible. Como bien apunta Tannert et al. (2008), utilizando las máquinas con procesadores automatizados, las uniones en madera pueden fácilmente ser procesadas a gran velocidad, configurando unos componentes de alta precisión y de alta calidad en sus cortes. Esta precisión y rapidez en el trabajo, que propicia esta tecnología, influye directamente en el tiempo de uso de las máquinas mientras trabajan, que, a su vez, inciden en el menor consumo de energía, que lo hace más responsable.

Así mismo, esta alta calidad repercute notoriamente en la longevidad del producto final, pues si sus componentes están bien calculados, en cuanto a resistencias, y el proceso de producción totalmente fiel a lo estipulado en el proyecto, se supone que sería más

complicado o menos previsible que un componente fallase. Y, en el caso de producirse un fallo o rotura en un componente por su uso, sería fácilmente replicable y reemplazable para su reparación, debido a que todas sus etapas de producción están controladas, en lugar de deshacerse del producto entero y al ser todos sus componentes fácilmente reciclables, se podría pedir al diseñador o fabricante local la pieza concreta dañada para su reemplazo. De nuevo, con estas opciones tecnológicas novedosas se posibilita el ahorrar costes extras ambientales, como se ha mencionado.

7. Sostenibilidad

La industrialización democratiza el uso de mobiliario. La estandarización, gracias a la tecnología, trae consigo mayor cantidad de muebles que llegan a la mayoría de la población. Sin embargo, para economizar en los procesos, introducen elementos de unión entre piezas que pueden venir con deficiencias en sus componentes que acortan su vida útil. Esto supone que se pierden grandes cantidades de madera en los muebles que se desechan, además de sus componentes de unión contaminantes, que van a parar a los vertederos.

Por lo tanto, y pese a que la madera es un material que, como ya se ha comprobado, cumple con los estándares más altos en cuanto a sostenibilidad, su eliminación puede llegar a ser un desafío ecológico si no se trata este problema de su vida útil y su desecho de manera adecuada.

Hay que tener en cuenta que, un mueble de madera tiene una vida útil aproximada de entre 5 y 12 años, y que son necesarios 13 años para que se degrade en un vertedero (Haviarova et al., 2015). Por estas razones, ya hemos visto, en el apartado del ecoetiquetado, cómo surgen normas que tratan de paliar todos estos problemas de sostenibilidad. Primero, con la utilización de materiales adecuados; segundo, por obligar a utilizar mejores calidades y competitividad en los productos, de forma que se alargue su vida útil y mejorar las opciones de desecho al final de ella. Pero es igual de importante, tanto este cambio en entidades, como en el papel que toman los diseñadores que conciben estos productos, pues ellos pueden reducir este impacto, proyectándolo para ello, desde la concepción de esos diseños. Y se incluye, así, conciencia medioambiental, como ya llevaba tiempo anunciando Papanek, junto con el consumo crítico por parte de los consumidores, quienes deberían demandar más seguridad, sostenibilidad e impacto medioambiental (Uysal, 2014), y no solo consideraciones en el precio marca, disponibilidad y singularidad del producto. Ya lo afirmaba Papanek (1972), hace cuatro décadas, o, Margolín en 2002, hace dos, pero Fleming (2010), mediante ciertas investigaciones, asegura, que el 70% del impacto total de un producto, es determinado en la fase de diseño. Por ello, la importancia de implementar estrategias de diseño, alineadas con el medioambiente, en las primeras fases de ideación de cada producto; lo mismo que diseñar opciones de una segunda vida, y de fin de vida útil, para reducir su impacto medioambiental (Uysal, 2014).

Teniendo en cuenta la escala y lugar geográfico de un proyecto para creación de mobiliario, como le ocurrió al equipo de investigadores de mobiliario de la universidad de Purdue University en EEUU, para mobiliario en Escuelas del tercer mundo, llegaron a afirmar

que, para minimizar aún más, otros posibles impactos negativos en un entorno que se va a amueblar a gran escala, se deben considerar e introducir, factores como el contexto, la cultura y el conocimiento; así como también, el cómo se utilizan los recursos, cómo se vive, qué se necesita para vivir, estética y usabilidad, para poder producir, en conjunto, un mobiliario útil, con un diseño atemporal, duradero y adaptable; con gran longevidad en la medida de lo posible, y que se pueda producir de manera económica y con una huella medioambiental baja, así como que enfatice las acciones de reutilizar, mantener, desmontar fácilmente, reparar y reciclar (Uysal, 2014). Poco se habrá reflexionado si, aunque con la mejor intención, se lleva a estas escuelas remotas, pupitres de última generación, puesto que, simplemente, si dichas escuelas no son espacios estancos, podrían pudrirse por humedad ambiental en un corto periodo de tiempo. Dichos muebles, ya defectuosos, acabarían desechados en cualquier entorno biológico, habiendo introducido otro problema añadido mediante materiales contaminantes de última generación.

8. Conceptos y estrategias de diseño sostenible

Dada la necesidad de cambiar las estrategias y metodologías en el diseño, van surgiendo corrientes de pensamiento que tratan de introducir un cuerpo de doctrina a las pautas de comportamiento responsable en el diseño desde otros ámbitos.

Design for Environment (DfE) trata de disminuir el impacto de todo el proceso de producción de un producto, además enfatiza en el estudio de las etapas y el fin de vida útil. En particular con respecto a la gestión de los desechos, el 10% del mobiliario es reciclado mientras que del 80% al 90% es incinerado (Uysal, 2014). También la elección de opciones que conlleven el menor impacto medioambiental posible del fin de vida útil, como podría ser la reutilización, ante el desecho a vertedero y, la refabricación para reutilización. A esta etapa final de un producto se le denomina *End of Life* (EoL). Los llamados *design for manufacturing* (DFM) y *design for assembly* (DFA), han adquirido popularidad en los últimos años, debido a que tratan de eliminar desperdicios, a través de su integración durante el diseño y sus procesos (Boothroyd, 1994; Meeker & Rousmaniere, 1996).

Estos dos procesos se han integrado como una única metodología, llamada DFMA. Según Demeter y Matyusz (2011), en cualquier industria, minimizar la cantidad de piezas sin comprometer el rendimiento del producto, es una buena manera de reducir el inventario, que es la fase clave de transformación hacia una empresa más ágil. Pero también, reducir el número de componentes implica, además, que se beneficie la sostenibilidad del producto al minimizar el número de operaciones de configurado.

Otro concepto muy relacionado es el *Design for Disassembly* (DfD) (Bogue, 2007; como se citó en Uysal, 2014), que introduce otra característica, y es que dichas uniones sean susceptibles de desensamblarse. Que estas piezas puedan ser desmontadas fácilmente para reutilizar las piezas y materiales, reciclarlas o refabricarlas en nuevos productos, que es uno de sus fines, en lugar de que acaben en vertederos. Por ello, plantear uniones reversibles, como lo serían estos ensamblajes digitales en madera, resulta una de las opciones que cumpliría con los requisitos propuestos de sostenibilidad. En definitiva, según Uysal

(2014), el mobiliario que implementa criterios del DfD, tratará de seleccionar ensamblajes y uniones adecuadas, que sean fáciles de desmontar, visibles y accesibles; diseñar anteponiendo componentes estandarizados, modulares, partes robustas con pesos reducidos; seleccionando y utilizando el material primando los reciclados, la menor cantidad posible, y eliminar en la mayor medida que se pueda, los componentes tóxicos o peligrosos. El mismo autor, Uysal, presenta en su Tesis, ya mencionada, una serie de opciones para los productos en la fase denominada EoL, en las que entran en juego las citadas consideraciones de diseño para el medioambiente –Reutilizar, reparar, reciclado primario, reciclado secundario, incinerar y desechado en vertedero–.



Figura 6. *Mobiliario sostenible mediante madera certificada y ensamblajes digitales de madera.* Fuente: Víctor Armas-Crespo, en (<https://twitter.com/VisitorArmandol/status/1520415512932536321>).

9. Conclusiones

El diseño de mobiliario se presenta como una oportunidad para capacitar a los estudiantes mediante la habilidad de proyectar y fabricar un producto. La fresadora CNC de 3 ejes posee cualidades sobresalientes para adoptar soluciones que promueve medidas que protegen el medio ambiente. Estas cualidades son primordiales en la formación de diseñadores responsables acorde con lo exigible dentro de la Agenda 2030. Es por ello que se ha querido reforzar y enfatizar en este manuscrito los motivos que justifican el uso de una metodología y tecnología en lo que concierne a la sostenibilidad. Para cumplir estos requisitos en diseño de mobiliario es necesario conocer aspectos prácticos como los materiales menos contaminantes, las técnicas de uniones entre elementos, los acabados finales de los productos y las regulaciones; y aspectos más conceptuales como las estrategias de proyecto para diseño sostenible y la optimización de recursos.

Por otra parte, el uso en diseño de esta reciente tecnología fomenta también múltiples beneficios en la trayectoria de aprendizaje del alumno. Fundamentalmente se pasa de un plano de las ideas y concepciones en 2 dimensiones que todo lo soporta, a tener que tomar

decisiones para la construcción de productos a escala real. Gracias a esta tecnología el paso del mundo de las ideas al mundo real se produce en un corto espacio de tiempo, debido a que las metodologías de producción tradicional con métodos manuales ralentizaban las construcciones de estas ideas. Debido a los tiempos tan limitados que conlleva impartir docencia, el uso de la fabricación digital permite un aprendizaje ágil de los procesos creativos. Este hecho repercute positiva y directamente en el alumnado obteniendo unas cualidades en tiempo récord.

Por todo lo expuesto se pretende disipar cualquier tipo de duda tanto en centros docentes como en pequeñas industrias locales sobre la inversión para la adquisición de cualquier máquina de control numérico para fabricación de productos.

Referencias bibliográficas

- Armas-Crespo, V. (2023a). *Revisión y estudio crítico sobre diseño de ensambles de mobiliario de madera para fresadora CNC de 3 ejes. Estado del arte y propuestas*. Universidad Rey Juan Carlos.
- Armas-Crespo, V. (2023b). Revisión sistemática de talleres para docencia sobre investigaciones que realizan ensamblajes digitales en madera con fresadora CNC de tres ejes para mobiliario. Marco base de ayuda para crear talleres para diseño de productos sostenibles. In Dykinson (Ed.), *Impulsando las industrias creativas desde la innovación y la investigación: diseño y su proyección social* (pp. 196–207). <https://www.dykinson.com/libros/impulsando-las-industrias-creativas-desde-la-innovacion-y-la-investigacion-diseno-y-su-proyeccion-social/9788411701761/>
- Boothroyd, G. (1994). *Product design for manufacture and assembly*. 26(July), 505–520.
- Braungart, M., & McDonough, W. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Rodale Press.
- Chandel, R. S., Kumar, R., & Kapoor, J. (2022). Proceedings Sustainability aspects of machining operations : A summary of concepts. *Materials Today: Proceedings*, 50, 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.624>
- Demeter, K., & Matyusz, Z. (2011). The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 154–163.
- Filson, A., Rohrbacher, G., & Kaziunas France, A. (2017). *Design for CNC: Furniture Projects and Fabrication Technique* (P. Di Justo (ed.)). Maker Media.
- Fleming, E. D. (2010). Ritsy: Flat-Pack Furniture for the Urban Nomad. *Interior Design Program: Theses*, 1.
- Geng, A., Ning, Z., Zhang, H., & Yang, H. (2019). Quantifying the climate change mitigation potential of China's furniture sector: Wood substitution benefits on emission reduction. *Ecological Indicators*, 103(159), 363–372. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.036>
- Haviarova, E., Uysal, M., Tasdemir, C., & Gazo, R. (2015). Determining Tension and Compression Strength and Basic Manufacturing Feasibility of CNC Router-cut Joints. *5th International Scientific Conference on Hardwood Processing*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Hoadley, R. B. (2000). *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. Taunton press.
- Iraldo, F., Griesshammer, R., & Kahlenborn, W. (2020). The future of ecolabels. In *The International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 25, Issue 5, pp. 833–839). Springer.
- Iritani, D. R., Silva, D. A. L., Saavedra, Y. M. B., Graef, P. F. F., & Ometto, A. R. (2015). Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. *Journal of Cleaner Production*, 96, 308–318.
- Kumar, S., Vichare, P., Nassehi, A., Dhokia, V. G., & Newman, S. T. (2009). Design and implementation of machine tool static error feedback model. *2009 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 660–664.
- Linkosalmi, L., Husgafvel, R., Fomkin, A., Junnikkala, H., Witikkala, T., Kairi, M., & Dahl, O. (2016). Main factors influencing greenhouse gas emissions of wood-based furniture industry in Finland. *Journal of Cleaner Production*, 113, 596–605. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.091>
- Lotti, G., Villani, V., Battilani, N., & Fantuzzi, C. (2019). machines interaction for CNC machines interaction for CNC machines. *ScienceDirect; IFAC PapersOnLine*, 52(19), 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.080>
- Meeker, D. G., & Rousmaniere, A. (1996). DFMA and its role in the integrated product development process. *Massachusetts Institute of Technology*. <http://web.mit.edu/meeker/Public/DFMAandIPDP.pdf>
- Papanek, V. J. (1972). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change* (1^o). Pantheon Books.
- Postell, C. (2012). *Furniture Design* (2^o). John Wiley & Sons Inc.
- Ross, R. J. (2010). *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material (Centennial Edition)*. Forest products Laboratory. United States Department of Agriculture.
- Tannert, T., Schmidt, D., Arquitectura, E. De, Mayor, U., & Lam, F. (2008). CNC Timber Processing in Research and Teaching. *The 51st International Convention Pf Society of Wood Science and Technology*, May, paper WS-52 (1-9).
- Uysal, M. (2014). Furniture Design and Product Development Principles Considering End-of-life Options and Design for Environment Strategies. *Purdue E-Pubs*, 1–120.
- Wick, R. (1982). *Pedagogía de la Bauhaus*. Alianza Forma.

Abstract: In recent years, digital manufacturing is becoming a primary work tool for designers. Within what this technology covers, digital production focuses on numerical control machines. Its development and democratization is what has allowed greater accessibility in different areas. The use of these new tools entails specific work methods that must be learned by users for maximum use. These methods not only greatly speed up the design processes but also imply guidelines that are respectful of the environment and that are not always taken into account. The objective of this manuscript is to publicize the benefits that the use of digital manufacturing brings in sustainability issues. The scope of work focuses on teaching for furniture design.

Keywords: Sustainable CNC furniture - CNC furniture teaching - technological design education - digital wood assemblies - CNC furniture design - sustainable design strategies

Resumo: Nos últimos anos, a fabricação digital está se tornando a principal ferramenta de trabalho dos designers. Dentro do que esta tecnologia abrange, a produção digital concentra-se em máquinas de controle numérico. Seu desenvolvimento e democratização é o que tem permitido maior acessibilidade em diversas áreas. A utilização destas novas ferramentas implica métodos de trabalho específicos que devem ser aprendidos pelos usuários para seu máximo aproveitamento. Estes métodos não só aceleram muito os processos de design, mas também implicam diretrizes que respeitam o meio ambiente e que nem sempre são levadas em consideração. O objetivo deste manuscrito é divulgar os benefícios que o uso da manufatura digital traz nas questões de sustentabilidade. O escopo do trabalho concentra-se no ensino de design de móveis.

Palavras-chave: Móveis CNC sustentáveis - ensino de móveis CNC - ensino de design tecnológico - montagens digitais de madeira - design de móveis CNC - estratégias de design sustentável

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