



Reconstrucción virtual de aperos antiguos mediante renderización y modelado 3D: Estudio ergonómico

Virtual reconstruction of old implements by rendering and 3D modeling: Ergonomic study

Emilio Ramírez-Juidías^{1*}, Jesús Yanes-Figueroa², Lalla Hazman-Hendi¹ y M^a Dolores Noguero-Hernandez¹

¹Departamento de Ingeniería Gráfica, Universidad de Sevilla, Sevilla. España

²Agricultura y Ensayo S.L., Sevilla. España

Resumen

A lo largo de la historia del ser humano, la maquinaria agrícola ha sido parte inseparable de su evolución socio-cultural, dando lugar a una interconexión del conocimiento rural entre diferentes culturas y civilizaciones. Esto, unido tanto a las necesidades particulares de cada asentamiento, como al conocimiento de la tecnología, tuvo como consecuencia la aparición de una gran variedad de aperos de labranza, cada uno de los cuales realizaba, perfectamente, la misión para la que había sido fabricado. En el presente estudio se analizaron un total de tres aperos de labranza (sembradora, arado de vertedera y desbrozadora), básicos para el desarrollo de cualquier comunidad agrícola, a través de diferentes categorías cronoarqueológicas, con el fin de ver la relación existente entre el desarrollo tecnológico y sus características ergonómicas. Los resultados muestran como los primeros instrumentos de labranza diseñados y utilizados por el hombre mantienen el mismo principio básico de diseño en las diferentes culturas y civilizaciones que han existido, aunque la inclusión de pequeñas modificaciones en el diseño original ha tenido una evolución lenta, pero constante, a lo largo del tiempo. El uso de software de diseño 3D ha sido muy importante para este estudio.

Palabras Clave: APEROS ANTIGUOS, DISEÑO ERGONÓMICO, EDAD CRONOARQUEOLÓGICA, DISEÑO 3D.

Abstract

Throughout human history, agricultural machinery has been an inseparable part of their socio-cultural evolution, leading to an interconnection of rural knowledge between different cultures and civilizations. This along with both the particular needs of each settlement as knowledge of technology, led to the development of a variety of agricultural plows, each of which performed, perfectly, the mission for which it had been made. In this study a total of three agricultural plows (seeder, moldboard plow and brush cutter), indispensables for the development of any agricultural community, were analyzed through different chronoarchaeological categories in order to find the relationship between technological development and its ergonomic characteristics. The results show how the first farming implements designed and used by humans keep the same basic design principle in different cultures and civilizations that have existed, although the inclusion of small changes to the original design has evolved slowly, but steadily, over time. The use of 3D design software has been very important for this study.

Key words: ANCIENT PLOWS, ERGONOMIC DESIGN, CHRONO-ARCHAEOLOGICAL AGE, 3D DESIGN.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el comienzo de la historia, el hombre en su afán creativo ha buscado herramientas que le han permitido adaptar el medio ambiente circundante a sus propias necesidades. Un buen ejemplo de esto es el Paleolítico Inferior, donde el ser humano empezó a utilizar herramientas fabricadas en piedra, cuyo uso estandarizado dio lugar a la aparición de otras más especializadas y precisas (HUMPHREY, 2006: 2). En el Paleolítico Superior, el desarrollo cultural del hombre de Cromañón tuvo como resultado una relación directa con la fabricación de herramientas de tipo compuesto y mucho más avanzadas que en épocas anteriores, donde el diseño ergonómico empezó a estar presente, aunque de una forma poco avanzada.

De acuerdo con RENFREW (2011: 178), antes de la introducción de la agricultura, todas las sociedades humanas estaban formadas por pequeños grupos de cazadores-recolectores (100% en el 12000 a.C.), cada una de las cuales disponía de una serie de campamentos de ocupación estacional y otros centros más pequeños y especializados, entre los que se encontraban los cazaderos, lugares donde se mataban y a menudo se despizaban grandes mamíferos.

Con el paso del tiempo, algunas de las sociedades dispuestas a modo de pequeños grupos, evolucionaron hasta las llamadas sociedades segmentarias, donde, en gran medida, la base de su subsistencia se basaba tanto en las plantas cultivadas como en los animales domésticos. Esto, unido a la especialización y especificación de los trabajos destinados a la preparación del terreno, tuvo como consecuencia la invención de diversas herramientas, que bien con ayuda de animales, o mediante la cooperación de sus congéneres, dio origen al desarrollo de la agricultura.

Aunque JANICK (2008) especifica que los orígenes de la agricultura tuvieron lugar, de manera independiente, en áreas más o menos grandes de diferentes continentes (Fig.1), bien es cierto que en ellas existió un progreso social mucho más rápido, lo que permitió un enfoque

comercial mayor, y por tanto, una mayor capacidad inventiva con el fin de dotar a las zonas deficitarias de una tecnología adecuada a sus propias necesidades.

No cabe duda que en este proceso de desarrollo tecnológico, el diseño, en general, era una de las piezas clave del éxito comercial. Sin embargo, aunque hoy día entendemos el diseño ergonómico como algo relativamente nuevo, el análisis de las diferentes herramienta agronómicas utilizadas en la antigüedad nos muestra que, aunque primitivas, poseen un gran desarrollo de las formas individuales de cada parte del conjunto que compone la herramienta en cuestión, lo que indica que dichas sociedades poseían un profundo conocimiento de las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y de las capacidades del agricultor, gracias a lo cual efectuaban el diseño de los distintos aperos.



Figura 1. Zonas donde hubo un origen independiente de la agricultura (en color rojo)

En este sentido, y aunque en las últimas décadas la reconstrucción virtual ha llegado a ser un valioso instrumento en la preservación y protección de nuestro patrimonio cultural y natural (NOH, 2009: 52), muy poca atención ha sido prestada a la recuperación de las diferentes herramientas y maquinaria agrícola que han existido a lo largo de la historia del hombre. Es por ello que en el presente artículo el objetivo principal será utilizar, de manera conjunta, software de diseño y modelado 3D, así como aquella información existente sobre los aperos de labranza seleccionados, y pertenecientes a diferentes categorías cronoarqueológicas, con el fin de obtener la relación existente entre estas a

lo largo del tiempo. De igual modo se tendrán presentes aquellos conceptos de diseño ergonómico que dejen patente la aplicación de dicha disciplina en el diseño de maquinaria agrícola en épocas anteriores.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Objetos de estudio

A lo largo de la historia del ser humano, la evolución de las herramientas utilizadas para las distintas labores agrícolas ha sido crucial para el desarrollo social.

Desde el primitivo uso del palo usado para abrir un agujero en el suelo, y depositar en su interior unas pocas semillas, el hombre, mediante la mera observación y con ayuda de su intelecto, ha logrado realizar labores cada vez más pesadas, siendo prueba de ello los diferentes utensilios y herramientas que han llegado hasta nuestros días.

Tal y como especifican ZHOU (2003: 2) y BLENCH (2006: 5), las primeras herramientas agrícolas fueron realizadas a base de piedra, hueso y madera. Sin embargo, fue precisamente la introducción de diferentes metales lo que dio lugar a la primera gran revolución agrícola. En Africa, por ejemplo, a diferencia del mundo mediterráneo, aunque existen evidencias que demuestran que el cobre fue utilizado contemporáneamente con el hierro, CORNEVIN (1993) especifica que ambos metales no fueron utilizados para la fabricación de herramientas agrícolas, sino, ocasionalmente, para la elaboración de armas, siendo a partir del 1500 d.C cuando su uso empezó a extenderse, más rápidamente, en la agricultura desde la costa africana hasta las zonas del interior.

En lo que respecta a Asia, y China en particular, fue la incorporación del bronce, y posteriormente del hierro, lo que hizo posible que la agricultura tuviera altos índices de especialización (1800-1100 a.C), aunque durante la dinastía QIN (255-206 a.C) fue cuando se desarrollaron importantes herramientas, caso de la sembradora, la grada o la vertedera, cuyas

bases de diseño y funcionamiento siguen siendo utilizadas actualmente (ZHOU, 2003: 2).

Egipto, por su parte, (JANICK, 2002: 23), y al igual que China (ZHOU, 2003: 2), no tuvo un desarrollo aislado, lo que le permitió tener importantes contactos comerciales con áreas de vital importancia (las que actualmente conforman las fronteras de Israel, Jordania, Líbano, Siria, Iraq, Etiopía, Somalia, pequeñas zonas del África sub-Sahariana, Oeste de Asia e incluso China) de cara al avance tecnológico relacionado con la maquinaria y las herramientas agrícolas.



Figura 2. Sembradora existente en fresco de la Tumba de Sennedjem (Thebes)

En otro orden de temas, resultan de gran interés las imágenes presentes en frescos funerarios del antiguo Egipto, así como las descubiertas en escritos de la antigua China. Uno de los ejemplos más valiosos se puede encontrar en la Tumba de Sennedjem (1306-1209 a.C) (Fig.2), de la que SAURA (2006) muestra, en su tesis doctoral, uno de los paramentos donde aparece un campesino guiando una asurcadora de madera, además de una mujer echando semillas en el suelo. Probablemente este sea uno de los primeros diseños de la sembradora.

Por otra parte y en relación al fresco egipcio del Siglo XV a.C citado por SEIDEL (1991), otros autores, caso de BAUMANN (1944: 207), BLENCH (2006) y STEVENS (2014), detallan una serie de herramientas agrícolas, fabricadas en madera o hueso, que coinciden, en diseño y tipología, con las presentes en el continente africano a partir del 1500 d.C (Fig.3).

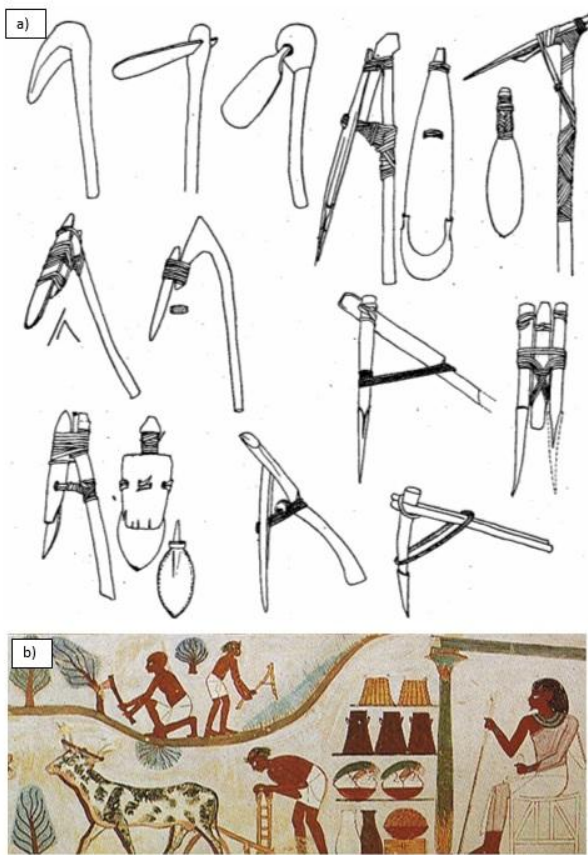


Figura 3. a) Herramientas africanas; b) utensilios egipcios de la Tumba de Nakht (Thebes)

Similares herramientas se encuentran en el Museo de Agricultura Chino (Fig.4).



Figura 4. Herramientas Chinas de diferentes épocas

En otro orden de temas, y avanzando en el tiempo hasta la Edad Media, BROWN (2006) señala la existencia de un arado vertedera reversible, el cual tiene muchas similitudes (Fig.5) con el arado de vertedera utilizado durante la dinastía QIN (255-206 a.C).

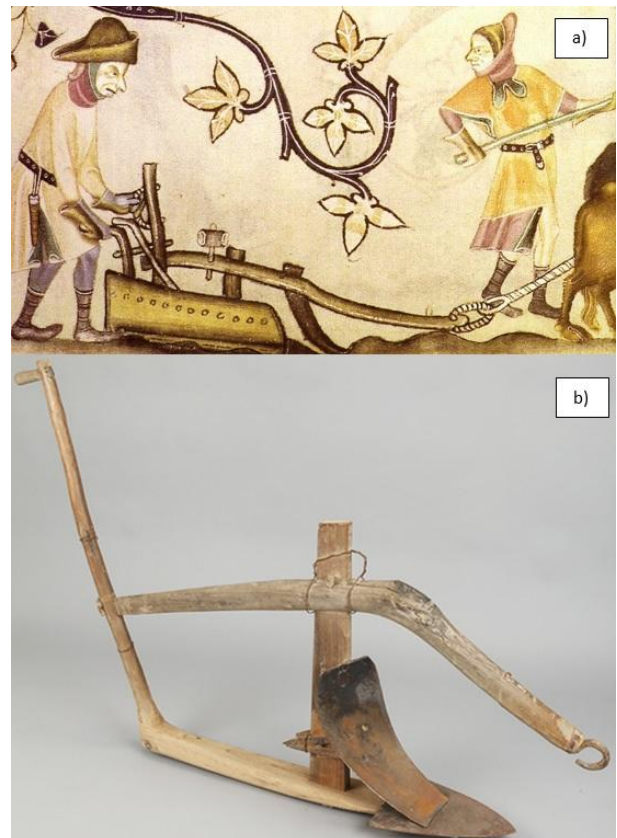


Figura 5. a) Vertedera utilizada en la Europa de finales del Siglo XIII; b) vertedera desarrollada durante la dinastía QIN (China Agricultural Museum).
Ambas son reversibles

No cabe duda, que la interacción entre diferentes culturas es la responsable de las semejanzas existentes entre los diferentes aperos de labranza. Aún así, y a consecuencia de la más que aceptable operatividad de dichas herramientas, otro salto temporal, hasta la primera mitad del Siglo XIX, permite vislumbrar la evolución seguida, entre otros, por el arado de vertedera reversible (Fig.6).

2.2. Datos y metodología

En el presente estudio, un total de tres herramientas agrícolas, vertedera, grada y sembradora, básicas para una buena preparación del terreno de cara a la siembra, fueron seleccionadas con el fin de caracterizar de manera idónea su desarrollo y evolución a largo del tiempo, desde una perspectiva puramente ergonómica.

Para dicho fin, y mediante el software de diseño industrial Solid-Edge, se realizaron modelos tridimensionales de cada uno de los aperos a partir de medidas tomadas directamente en campo, caso de la vertedera del XIX, o mediante técnicas de fotogrametría (para la grada medieval y su homónimo actual “el vibrocultor”, y la sembradora egipcia).



Figura 6. Fotografía de arado vertedera del Siglo XIX tomada en la finca San José, Córdoba (España), en julio de 2010 por YANES-FIGUEROA, J

Con el propósito de que el modelo virtual fuera lo más próximo posible al real, se tuvieron en cuenta una serie de procedimientos básicos de modelado 3D, cada uno de los cuales cumplen los siguientes principios: a) generación por trayectorias (sweep representation); b) generación por geometría constructiva de sólidos (constructive solid geometry); c) generación por contornos (boundary representation); y d) generación por enumeración espacial esquematizada (spatial enumeration).

Por otra parte, se llevó a cabo una profunda revisión bibliográfica destinada a determinar la posible existencia de un registro histórico-temporal, lo suficientemente extenso y significativo, de referencias como para poder obtener unos resultados, discusión y conclusiones coherentes con la presente investigación. A este respecto la información suministrada por RAMÍREZ-JUIDÍAS (2010) en su tesis doctoral, fue de enorme interés para lograr obtener las relaciones existentes entre las

distintas culturas a lo largo de la historia del hombre.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como bien es sabido, la ergonomía es la ciencia que estudia el acoplamiento de las máquinas a los seres humanos de forma que la combinación resultante sea confortable, segura y más eficiente. En base a esta definición, no solo se puede observar que no es algo de carácter arbitrario o estético, sino que sigue unas pautas y reglas bien definidas con un objetivo concreto. Es obvio que una mala postura de trabajo, o una actividad mal planteada, puede ocasionar lesiones de mayor o menor grado de reversibilidad. De la misma manera, una herramienta mal diseñada puede generar ciertas lesiones que se podrían evitar siguiendo pautas de diseño ergonómico.

En base a lo comentado, y centrándonos en la vertedera, se puede observar (Fig.5, Fig.6 y Fig.7) que desde la antigüedad predomina la existencia de una especie de manillar que permite mantener la máquina agrícola en la dirección apropiada de trabajo.

En primer lugar, es dicho manillar el que ha evolucionado, de simple a doble, con el fin de permitir un mejor control del apero en cuestión. Además, es interesante denotar que el mango de la guía no ha sufrido variación desde la dinastía QIN hasta el Siglo XIX, ya que su forma cilíndrica facilitaba su manejo. Sin embargo, tal y como se observa en la parte inferior izquierda de la Fig. 3 b), eran los egipcios quienes poseían un diseño poco adecuado del manillar, siendo esta, probablemente, una de las razones, sin contar las posibles molestias físicas por la postura inadecuada del trabajador, de su rediseño posterior. Del mismo modo es el agarre de la herramienta al animal el que ha sufrido modificación, lógico a consecuencia de que al aumentar la superficie del formón (antiguamente) a reja (Siglo XIX) aumenta, igualmente, la resistencia de arrastre, por lo que resulta más sencillo, de cara a la fatiga del animal y por tanto a su eficiencia de trabajo, elevar el elemento de enganche a la bestia.

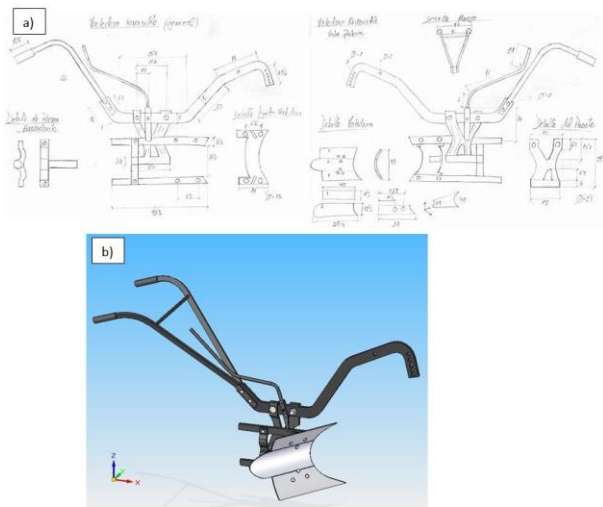


Figura 7. a) Datos tomados en campo; b) perspectiva dimétrica del arado de vertedera del Siglo XIX modelado con Solid-Edge

Respecto de la grada medieval (Fig.8), aporo utilizado para la preparación completa del lecho de siembra en aquellos cultivos que requieran buena preparación con una sola pasada, vemos que su primitivo diseño, a base de cuerpos de hierro y dientes, del mismo material, de simple curvatura, probablemente realizado por un artesano de la época, se mantiene en la actualidad. Hoy día, esta máquina está fabricada a base de un bastidor principal al que se unen otros, más pequeños, sobre los que se fijan los dientes en varias filas. Aunque hoy por hoy los bastidores secundarios van unidos al principal de manera flexible, garantizando que los elementos labrantes trabajen a profundidad uniforme con independencia de las irregularidades de la superficie del terreno, podemos suponer, dado que la herramienta medieval está fabricada con barras soldadas en dirección perpendicular, trabajaba de manera irregular, aunque tal vez el peso de la estructura compensara, en parte, este efecto. A diferencia del caos anterior, en el Siglo XIII el diseño del enganche permitía una escasa fatiga del animal, lo que repercutía positivamente en el coste horario de la labor.

No menos importante es la mujer que aparece detrás de la grada en la Fig.8 a), quien parece que echando semillas al suelo, al igual que en la Fig.2 mostrada con anterioridad, lo que nos permite suponer que la herramienta egipcia evolucionó hasta la grada, momento en el que el hombre se

dio cuenta de los beneficios que aportaba al suelo, caso de la aireación entre otros, y decidió desarrollar otra máquina mejorando, levemente, el diseño de la anterior. Entre dichas mejoras se encuentra el uso de una serie de varillas niveladoras de suelo situadas en la parte posterior del bastidor.

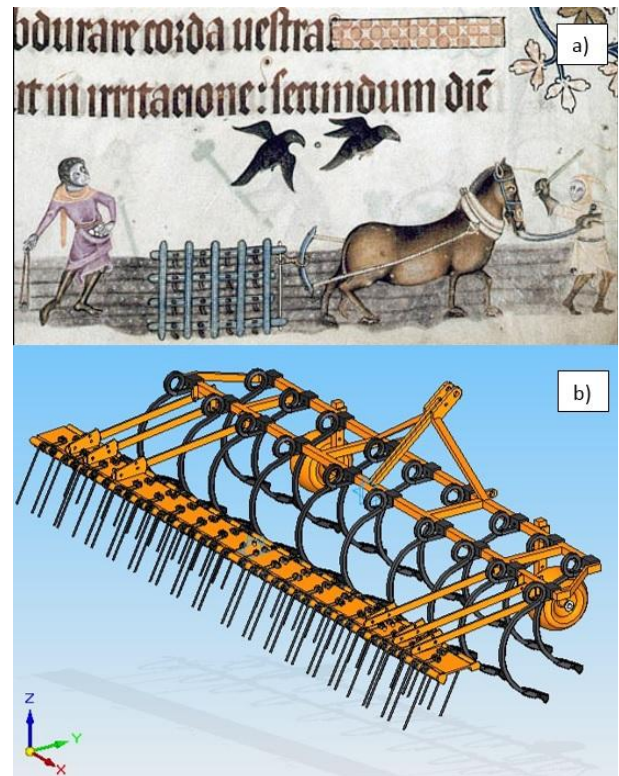


Figura 8. a) Grada europea de finales del Siglo XIII; b) Vibrocultor actual modelado con Solid-Edge a partir de técnicas fotogramétricas

En último lugar (Fig.9), la sembradora egipcia está concebida bajo un gran conocimiento de las formas individuales, así como de la geometría propiamente dicha.

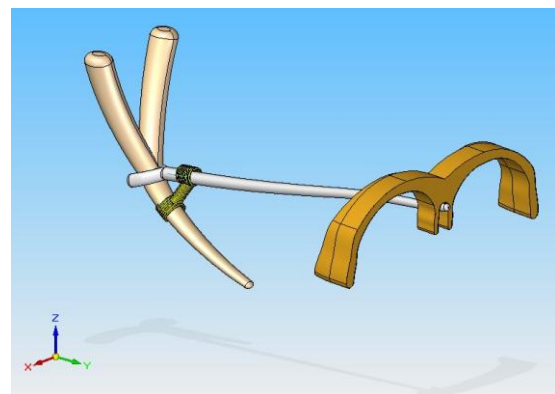
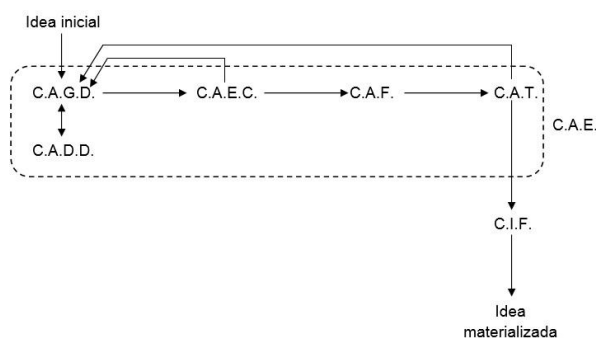


Figura 9. Sembradora egipcia modelada con Solid-Edge

Si nos fijamos en la parte inferior de la misma, la que se encuentra en contacto con el suelo, vemos que el diseño a base de curvas alabeadas de tres directrices (forma de cuerno de vaca), así como las secciones elípticas con bordes redondeados para facilitar el agarre del trabajador, deja patente el profundo conocimiento sobre ergonomía que poseían los egipcios, por lo menos a partir del 1306-1209 a.C. Igualmente, el diseño del yugo facilita el trabajo del animal de tiro, aumentando la productividad de la labor realizada.

4. CONCLUSIÓN

Una de las aplicaciones más importantes del modelado 3D es el diseño y fabricación de piezas y máquinas (Fig.10).



Donde:

- C.A.G.D. son las siglas de Diseño Geométrico Asistido por Computador.
- C.A.E.C. son las siglas de Calculo Estructural Asistido por Computador.
- C.A.F. son las siglas de Fabricación Asistida por Computador.
- C.A.T. son las siglas de Test (pruebas) Asistidas por Computador.
- C.A.D.D. son las siglas de Dibujo y documentación Asistido por Computador.
- C.A.E. son las siglas de Engineering (ingeniería) Asistido por Computador.
- C.I.F. son las siglas de Fabricación Integral Asistida por Computador.

Figura 10. Diagrama de fases del proceso de diseño y fabricación con herramientas CAD

La realización de prototipos a partir de objetos existentes o que han existido, como es el caso, permite efectuar pruebas estructurales con el fin de detectar posibles fallos en el diseño y construcción de la herramienta original.

En el presente estudio se ha podido constatar que todos los aperos, independientemente de la edad cronoarqueológica a la que pertenezcan los mismos, poseen un funcionamiento óptimo desde el punto de vista mecánico, a pesar de que la mayoría se encontraban fabricados con madera.

Con respecto al conocimiento geométrico y de diseño mecánico que poseían los inventores de la antigüedad, hay que decir que eran precisos en función de las técnicas que tenían para efectuar y diseñar la maquinaria necesitada. Los ángulos entre las partes del conjunto, así como sus dimensiones eran acertados.

Ergonómicamente hablando, el hombre, históricamente, ha sabido adaptar el útil o apero utilizado a sus condiciones y necesidades físicas, procurando igualmente aumentar los rendimientos de las labores pensando en el bienestar del animal en todo momento. Esto es una prueba evidente del conocimiento que sobre esta rama del conocimiento se tenía desde la antigüedad.

Mucha atención tiene que ser prestada a la evolución que han seguido las herramientas desde la antigüedad, cosa que, como se ha demostrado en el presente artículo, ha dado lugar al desarrollo de otras nuevas, aunque manteniendo las mismas bases de diseño que sus predecesoras.

ACKNOWLEDGMENTS

Los autores agradecen al Dr. Francisco Pelegrín Sánchez, Catedrático de Escuela Universitaria de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Sevilla, sus consejos y enseñanzas sobre el diseño de maquinaria agrícola, las cuales han sido de gran utilidad de cara a la consecución del presente trabajo.

REFERENCES

- BAUMANN, H. (1944): *Koloniale völkerkunde*. H. Baumann (ed). Leipzig (Germany).
- BLENCH, Roger et al. (2006): “African agricultural tools: implications of synchronic ethnography for agrarian history”, in *Proceedings of the 5th International Workshop for African Archaeobotany*, LONDON 2006, pp. 1-22.
- BROWN, Michelle (2006): *The luttrell psalter: a facsimile*. British Library. London.
- CHINA AGRICULTURAL MUSEUM (2014): “Traditional chinese implements”, [online] <http://www.zgnybwg.com.cn/gb1/cl/jbcl/zgctnj.html> [Consult: 20-08-2014].
- CORNEVIN, M. (1993): *Archéologie africaine*. Maisonneuve & Larose. Paris.
- HUMPHREY, John William (2006): *Ancient technology*. Greenwood Press. EEUU.
- JANICK, Jules (2002): “Ancient egyptian agriculture and the origins of horticulture”, in *Acta Hort.* 582, pp. 23-39.
- JANICK, Jules (2008): “History of agricultural and horticultural technology in Asia”, [online] http://www.hort.purdue.edu/newcrop/hort_306/text/lec12.pdf [Consult: 20-08-2014].
- NOH, Zakiah et al. (2009): “A review on augmented reality for virtual heritage system”, in *Lecture Notes in Computer Science* 5670, pp. 50-61.
- RAMÍREZ-JUIDÍAS, Emilio (2010) “Arquitectura, geometría y paisaje en la dinastía Qing y el Japón Tokugawa”. Tesis doctoral leída el 07-10-2010, Universidad de Sevilla, [online] <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2229/arquitectura-geometria-y-paisaje-en-la-dinastia-qing-y-el-japon-tokugawa/#descripcion> [Consult: 01-09-2014].
- RENFREW, Colin et al. (2011): *Arqueología: teorías, métodos y práctica*. Akal. Madrid.
- SAURA SANJAUME, Marta. (2006): “La tumba de Sennedjem a Deir-El-Medina TT.1.”. Tesis doctoral leída el 09-02-2006, Universitat de Barcelona, [online] <http://www.tesisred.net/handle/10803/2595> [Consult: 10-05-2014].
- SEIDEL, Matthias et al. (1991): *Das grab des Nacht: Kunst und geschichte eines beamtengrabes der 18. Dynastie in Theben-West*. P. von Zabern. Germany.
- STEVENS, Chris J. et al. (2014): *Archaeology of african plant use*. Institute of Archaeology Publications. London (UK).
- ZHOU, Xingxiang et al. (2003): “Agricultural engineering in China”, in *Agricultural Engineering International: The CIGR EJournal*, pp. 1-11.