

**Revista Mexicana de Análisis de la Conducta**

**Revista Mexicana de Análisis de la  
Conducta**

**ISSN: 0185-4534**

**editora@rmac-mx.org**

**Sociedad Mexicana de Análisis de la  
Conducta  
México**

ÁVILA CHAUDET, LAURENT; PEDROZA CABRERA, FRANCISCO JAVIER  
REPRAP Y RHINOCEROS® EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO EXPERIMENTAL

Revista Mexicana de Análisis de la Conducta, vol. 39, núm. 3, diciembre-, 2013, pp. 65-72

Sociedad Mexicana de Análisis de la Conducta

Distrito Federal, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=59335809005>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## REPRAP Y RHINOCEROS® EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO EXPERIMENTAL

*REPRAP AND RHINOCEROS® FOR THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF EXPERIMENTAL EQUIPMENT*

**LAURENT ÁVILA CHAUVENT Y FRANCISCO JAVIER PEDROZA CABRERA**  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES

### Resumen

El presente trabajo discute la posibilidad de emplear las impresoras 3D *RepRap* y el software *Rhinoceros®* Versión 5 en la construcción de equipo experimental para la investigación en análisis de la conducta. Este equipo puede cumplir las mismas funciones que los equipos comerciales a un menor costo y puede ser fabricado *ad hoc* a las preguntas de investigación. El proyecto *RepRap* permite a los usuarios bajo la licencia Pública General de GNU (GNU GPL) disponer, modificar y compartir los diseños de las impresoras 3D *RepRap* de manera gratuita. Así mismo el software *Rhinoceros®* Versión 5 permite a los usuarios con poca o nula experiencia, diseñar y/o modelar objetos en 3D. Al final del documento se explora la posibilidad de crear una comunidad virtual orientada al diseño y construcción de equipo experimental, que pueda ayudar a los investigadores interesados en el análisis experimental de la conducta a crear su propio equipo experimental.

*Palabras clave:* equipo experimental, impresoras 3D, RepRap, Rhinoceros, palanca retráctil

### Abstract

This paper discusses the use of RepRap 3D printers and *Rhinoceros®* Version 5 software to build experimental equipment for behavior-analytic research. This equip-

---

Laurent Avila Chauvet y Francisco Javier Pedroza Cabrera, Centro de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de Aguascalientes.

El primer autor agradece a los colegas del Laboratorio de Interacción Social, al Grupo de Estudio del Comportamiento (GEC) y a los doctores José Luis Quintanar Stephano y Marina Liliana Gonzales-Torres por su apoyo en el establecimiento del Laboratorio de Psicología Experimental en la Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Dirigir correspondencia a Laurent Avila Chauvet: Laurent.ac.ag@gmail.com

ment can replace commercial equipment at a lower cost or be produced *ad hoc* for a variety of research applications. Under the GNU General Public License (GNU GPL), the RepRap project allows users to own, modify, and share the RepRap 3D printers designs for free. *Rhinoceros® versión 5* software gives users with little or no experience the possibility of designing 3D objects. The paper also suggests the possibility of creating a virtual community, oriented towards the design and construction of experimental equipment that could help researchers interested in the experimental analysis of behavior in building their own experimental equipment.

**Keywords:** experimental equipment, 3D printer, RepRap, Rhinoceros, retractable lever

Una dificultad a la cual se enfrentan los investigadores interesados en el análisis experimental de la conducta en Latinoamérica es el alto costo de los equipos comerciales destinados a dicha actividad (Escobar & Lattal, 2010), ya que estos pueden llegar a alcanzar precios superiores a los miles de dólares. Incluso cuando en las instituciones los investigadores tienen la posibilidad económica de adquirir alguno de estos equipos comerciales, remplazar las piezas o acceder a especialistas que pueden reparar estos equipos en caso de daño o avería, puede representar un obstáculo en su país de origen. Además como refirió Harzem (1994), el uso exclusivo de estos aparatos por parte de los investigadores, puede llegar a limitar el desarrollo de nuevas investigaciones y áreas de interés.

Ante estas dificultades, el presente trabajo tiene como objetivo discutir la posibilidad de emplear las impresoras 3D *RepRap* y el software de diseño *Rhinoceros® versión 5* (en adelante *Rhino5®*) en la construcción de equipo experimental de bajo costo. Este equipo además podría fabricarse *ad hoc* a las preguntas de investigación. Como un ejemplo, se describe el proceso de construcción de una palanca retráctil de bajo costo que puede usarse en investigación en análisis experimental de la conducta.

### **Impresoras 3D y *RepRap***

Inicialmente las impresoras 3D fueron empleadas en la industria con el objetivo de que los diseñadores pudieran obtener objetos físicos a partir del diseño asistido por computadora, CAD por sus siglas en inglés (Lemu, 2012). Conforme fue posible poner esta tecnología al alcance de las universidades y a otras áreas de trabajo, como la medicina, la arquitectura y la robótica, se abrieron las posibilidades de crear objetos tales como prótesis dentales, órganos artificiales, estructuras orgánicas, engranajes, etc.

El proyecto *Replicating Rapid Prototyper* (RepRap) inició en el 2004 en la Universidad Bath Londres, con el objetivo de crear impresoras 3D capaces de auto-rePLICARSE (RepRap, 2013). En la actualidad el proyecto cuenta con una página web (<http://www.reprap.org/wiki/RepRap>) que permite a los usuarios bajo la licencia Pública General de GNU (GNU GPL) disponer, modificar y compartir los diseños de las impresoras 3D *RepRap* de manera gratuita, lo cual ha jugado un papel importante en la evolución de estas impresoras 3D.

A diferencia de algunas impresoras 3D que trabajan bajo un principio de sustracción, en donde a partir de un material base se realizan los cortes o se sustraen el material necesario para hacer “resurgir” los objetos, las impresoras 3D *RepRap* trabajan bajo un principio de extrucción o “*prototipado rápido*”, en donde un filamento termoplástico (*Acrilonitrilo Butadieno Estireno* (ABS) o Ácido *Poliláctico* (PLA) de 1.7mm o 3mm de diámetro es calentado a cierta temperatura (de 180 a 240 grados dependiendo del material) e injectado por un extrusor capa por capa, para construir los objetos desde un plano bidimensional (X-Y) hacia uno tridimensional en forma vertical (Z).

Entre las características esenciales de las impresoras 3D *RepRap* (Figura1) se encuentran su compatibilidad con las tarjetas programables de hardware libre *Arduino Mega*, las cuales se pueden adquirir fácilmente en páginas de venta por internet y son compatibles con el *Shield* (placa que puede ser conectada en la parte superior del *Arduino Mega*) de hardware libre *RepRap Arduino Mega Pololu Shield* (RAMPS) para el control del movimiento de los motores de paso del extrusor y los ejes X, Y y Z. El extrusor es capaz de injectar filamentos de 0.5 a 0.1mm de diámetro en un área de impresión que va de 230 mm (X) x 230 mm (Y) x 100 mm (Z) a 500 mm (X) x 400 mm (Y) x 140 mm (Z), dependiendo del modelo. Otra característica es la posibilidad de trabajar con el lenguaje *G-code*, el cual le da las órdenes a la impresora y se obtiene a partir de la segmentación o transformación de un archivo con la extensión .STL (STereo Lithography), que puede ser generado por la mayoría de los software orientados al CAD. También es posible integrar una pantalla (*display*) para visualizar el tiempo de impresión y seleccionar las piezas a imprimir y una entrada para tarjeta micro SD, esto le permite al usuario prescindir del cable USB que va de la tarjeta *Arduino Mega* al ordenador.

Una de las ventajas que tienen las impresoras 3D *RepRap* frente a sus competidoras comerciales es el bajo costo tanto de las impresoras como de los materiales de impresión. El costo de las impresoras 3D *RepRap* puede variar entre los 8 y los 20 mil pesos mexicanos dependiendo del modelo y si estas son construidas por uno mismo o se le paga a alguien más para que las construya. El costo de los materiales de impresión varía alrededor de los 500 pesos por kilogramo. Todos los componentes, “vitaminas” (materiales no impresos), piezas impresas y materiales de impresión son relativamente sencillos de adquirir en tiendas especializadas o en páginas de venta por internet. Al interior de la página web <http://www.reprap.org/wiki/RepRap> se encuentra una guía del comprador, así como los diseños e instrucciones para construir una impresora 3D.

### Rhinoceros® Versión 5

Algunos programas como *Blender* (Licencia GNU GPL), *Autodesk AutoCAD* y *Rhino5®* permiten la manipulación y modelado de objetos 3D a partir de representaciones matemáticas B-splines racionales no uniformes, NURBS por sus siglas en inglés, capaces de generar desde simples curvas, hasta complicadas superficies y sólidos orgánicos (*Rhinoceros 5 manual del usuario*, 2012).

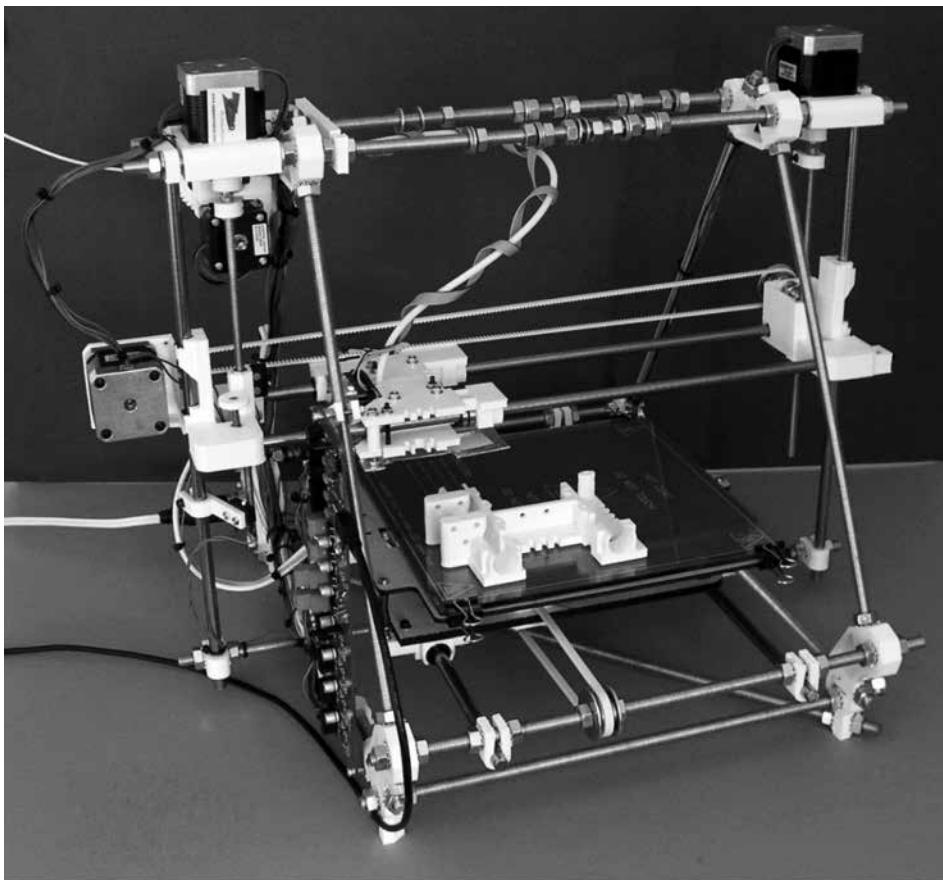


Figura 1. Fotografía de RepRapPro Mendel licencia GNU GPL, Disponible en la Web: <http://reprap.org/wiki/File:Reprapro-Mendel.jpg>

En sus orígenes el proyecto *Rhino5®* estaba orientado a desarrollar herramientas útiles a los diseñadores navales en la creación de modelos informáticos para manejo del equipo de fabricación (Rhinoceros, 2013). Hoy en día por un costo menor a 2600 pesos mexicanos los estudiantes y profesores vigentes pueden adquirir el software de diseño y modelado *Rhino5®*, el cual les permite a los usuarios con poca o nula experiencia introducirse al modelado 3D.

Entre sus múltiples ventajas respecto a otros programas de diseño se encuentran: la posibilidad de visualizar simultáneamente los planos X-Y, X-Z y Y-Z y una ventana de perspectiva (Figura 2), configurar la rejilla (delimitación y medidas del área de trabajo) según las necesidades del proyecto, corrección y análisis automático de muchos de

los posibles errores que se pueden generar al crear polisuperficies, múltiples aplicaciones para la modificación de los objetos (creación de matrices, agujeros, chaflanes, empalmes, doblar caras planas, etc.), la posibilidad de usar *plug-ins* con funciones específicas (crear engranes, tornillos, escáner 3D, etc.), una ventana de ayuda que exemplifica y da instrucciones sobre al uso de las aplicaciones y la posibilidad de guardar el archivo del proyecto en diferentes extensiones (.stl, .dwg, .igs, .stp, etc.).

Los requisitos del sistema para este programa son: 1 GB de memoria RAM (8 o más recomendados), 600Mb de espacio libre en el disco duro, Windows 7 u 8 (compatible con Windows Vista) y conexión a internet.

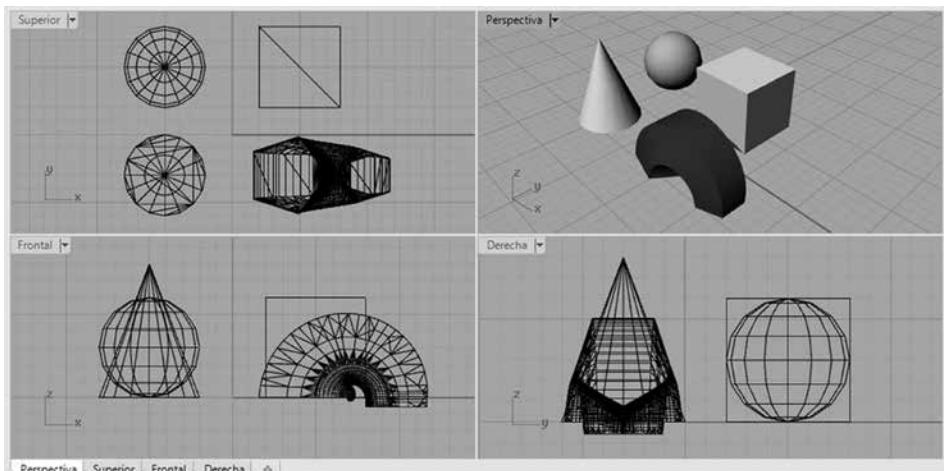


Figura 2. Cuatro figuras en los planos X-Y, X-Z, Y-Z y perspectiva extraídas de *Rhino5®*

### **Construcción de una palanca retráctil de bajo costo**

Como un ejemplo del equipo que puede construirse a partir de la combinación de las impresoras 3D *RepRap* y el software *Rhino5®* se describe el diseño y fabricación de una palanca retráctil de bajo costo que puede usarse para investigación en análisis de la conducta en la que se utilicen ratas como sujetos experimentales.

#### **Materiales**

Se usó un micro motor eléctrico 1.5 v – 9 v 300 (12.5 mm de radio), un micro interruptor Steren® (modelo SS0500A), un tornillo de acero inoxidable hexagonal de 15mm de diámetro por de 50mm de largo y dos tornillos tipo “allen”, modelo MSX16, adquiridos en la Tornillería Monterrey. Adicionalmente se usaron tuercas, una lámina de aluminio de 1mm de espesor (que fungió como palanca de respuesta) y 15 gramos de PLA.

## Diseño

A partir del software *Rhino5®* se diseñaron cuatro piezas compatibles con los materiales descritos en la parte superior, que se pudieran ensamblar fácilmente entre sí (Figura 3). Se inició el proyecto con figuras bidimensionales que respetaran las medidas de los materiales en los diferentes planos y posteriormente se extruyó por separado cada figura pulsando *Sólido* → *Extrucción de Curva Recta* → *Recta*. Para tapar las superficies de las figuras se pulsó *Sólidos* → *Tapar Agujeros Planos* y para realizar los agujeros y cortes pertinentes se utilizaron las funciones *Crear Agujeros* y *Cortar por Alambre* que permiten realizar modificaciones en los objetos a partir de figuras bidimensionales. Una vez construidos los objetos se crearon y se unieron las *mallas* (representaciones poligonales de los objetos) pulsando *Plano C* → *Malla Desde Superficie / Polisuperficie y Unir*. Finalmente se guardó el archivo del proyecto con la extensión .STL y se transformó al lenguaje *G-code* con el programa *Cura* (gratuito en <http://software.ultimaker.com>), para dividir los objetos en capas y organizarlos en forma lógica para su impresión, es decir, evitando capas sin soporte desde la base.

## Impresión

Se utilizó un modelo modificado de la *RepRap Mendel* llamada *Crea 3d Evolution 1800©* con una boquilla de 0.4 mm y capas de 0.1 mm. Se colocó en la impresora un micro SD con el *G-code* del proyecto y se seleccionaron las piezas a imprimir. El proceso de impresión duró alrededor de tres horas y media.

## Ensamblado

Con un cúter estándar caliente se sustrajeron los pequeños excesos de material de las piezas. Éstas se ensamblaron posteriormente en el orden señalado en la Figura 3, para obtener el resultado mostrado en la Figura 4.

## Discusión

El empleo de las impresoras 3D *RepRap* y el uso del software *Rhino5®* en el diseño y construcción de equipo experimental podría ser una excelente opción para responder a una de las dificultades que tienen algunos de los investigadores interesados en el análisis experimental en Latinoamérica: construir su propio equipo experimental. Con una inversión menor a los 11 mil pesos mexicanos (suponiendo que los investigadores construyan sus propias impresoras 3D *RepRap*) es posible adquirir herramientas útiles en la construcción de equipo experimental que pueda cumplir con las funciones de los equipos comerciales a un costo menor, por ejemplo, el costo total de palanca retráctil de bajo costo es de alrededor de 90 pesos mexicanos. Así mismo, con el uso

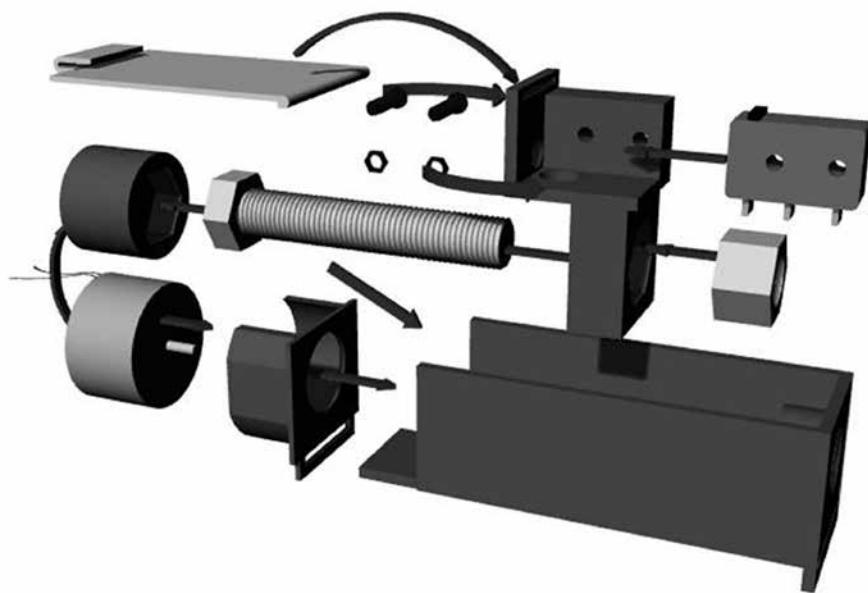


Figura 3. Piezas para el ensamblaje de la palanca retráctil de bajo costo. Diagrama extraído de Rhino5®

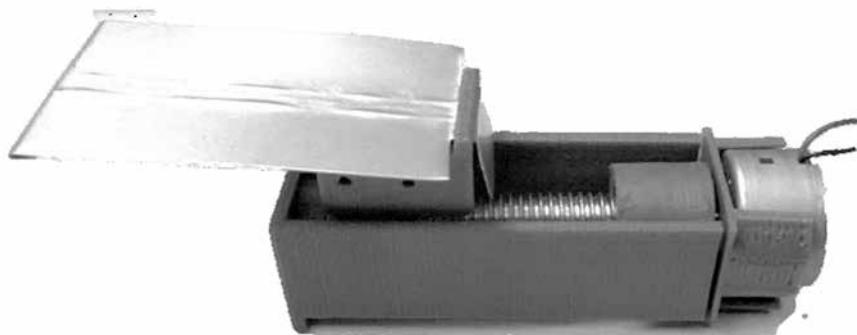


Figura 4. Fotografía de la palanca retráctil de bajo costo.

de esta tecnología se amplía la posibilidad de construir equipo experimental *ad hoc* a las preguntas de investigación, fijando como límite, la habilidad de los investigadores para generar nuevas preguntas de investigación y diseñar equipo para responderlas.

En estudios anteriores se han descrito interfaces de bajo costo (Escobar, Hernández-Ruiz, Santillán & Pérez-Herrera, 2012; Escobar & Lattal, 2010), las cuales permiten comunicar el ordenador con el equipo experimental para el control y registro experimental. Existen diversos programas que pueden ser utilizados junto la interfaz de bajo costo, entre ellos están *Visual Basic* que puede ser descargado gratuitamente de la web o NI Labview que permite a los usuarios con poca o nula experiencia introducirse al mundo de la programación (Avila, Cervantes, Quintanar & Pedroza, 2012). Dichas interfaces en combinación con las herramientas descritas en el presente trabajo, podrían facilitar el establecimiento de laboratorios de investigación a costos considerablemente menores que los estimados usando equipo comercial.

Para finalizar, se propone la posibilidad de crear una comunidad virtual orientada al diseño y construcción de equipo experimental, que pueda ayudar a los investigadores interesados en el análisis experimental de la conducta a crear su propio equipo experimental. Con acceso gratuito a los diseños e instrucciones de construcción, para favorecer la aparición de laboratorios de psicología experimental en Latinoamérica.

## Referencias

- Avila, C., Cervantes, A., Quintanar, J., & Pedroza, F. (2012, noviembre). *Interfaz de Bajo Costo. Control y Registro Experimental en LabVIEW*. Trabajo presentado en el Congreso Mexicano de Análisis de la Conducta, Guanajuato, México.
- Escobar, R., Hernández-Ruiz, M., Santillán, N., & Pérez-Herrera, C. (2012). Nota técnica: diseño simplificado de una interfaz de bajo costo usando un puerto paralelo y visual basic. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 38 (1), 72-88.
- Escobar, R., & Lattal, K. (2010). Interfaz de bajo costo usando un puerto paralelo y visual basic. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 36 (3), 7-21.
- Lemu, H. G. (2012). Study of Capabilities and Limitations of 3D Printing Technology. *4<sup>th</sup> Manufacturing Engineering Society International Conference (MESIC, 2011 AIP Conference Proceedings*, 1431(1), 857-865.
- RepRap (2013). RepRap. [Online] recuperado el 1 de septiembre de 2013, de [http://reprap.org/wiki/Main\\_Page](http://reprap.org/wiki/Main_Page)
- Rhinoceros 5 manual del usuario (2012). Seattle, WA: Robert McNeel,, & Associates. Recuperado el 1 de septiembre de 2013 de <http://www.rhino3d.com/es/download>
- Rhinoceros (2013). Seattle, WA: Robert McNeel, & Associates. Recuperado el 1 de septiembre de 2013 de <http://www.rhino3d.com/la/new/digfab/>
- Harzem, P. (1994). Las lecciones que no hemos aprendido de B. F.. Skinner. En E. Ribes (Ed.), *B. F. Skinner in memoriam* (pp. 175-185). Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.