



MODELOS DE INTERVENCIÓN CON *DESCARTES*

Juan Guillermo Rivera Berrío, *Red Educativa Digital Descartes de Colombia*

José Román Galo Sánchez, *Red Educativa Digital Descartes de España*

José Luis Alcón camas, *Red Educativa Digital Descartes de España*

RESUMEN.

Los modelos didácticos que desarrollan conceptos científicos son un canal usual de explicación y transmisión docente. Con ellos se busca motivar al discente para que infiera y deduzca propiedades, pero los soportes tradicionales (pizarra o papel) suelen constreñir este objetivo. Son los actuales sistemas interactivos de simulación los que permiten elaborar modelos pedagógicos de intervención en los que el aprendizaje significativo se manifiesta de manera natural, surgiendo espontáneamente la conjugación de la labor descubridora e investigadora. En esta comunicación se muestra cómo *Descartes* es un mediador virtual que sirve de soporte básico en la elaboración de modelos de intervención. Esta mediación se ejemplifica aquí a través de las percepciones de la Gestalt.

Nivel educativo: Secundaria y Universidad.

1. MODELOS EN LOS PROCESOS DE ENSEÑANZA APRENDIZAJE.

Tradicionalmente en nuestra labor docente hacemos uso de diferentes modelos educativos que buscan la explicación de conceptos bien matemáticos, físicos, lógicos o de otra índole. A veces recurrimos a metáforas o analogías desde asunciones que siendo conscientes a priori que son falsas (modelos del átomo, de los gases, económicos, etc.) el objetivo es reducir la complejidad del fenómeno buscando una mejor explicación: "*Hacemos estas suposiciones falsas, en parte para reducir suficientemente las posibilidades y que así podamos comenzar a describir y explicar, en parte para posibilitar la aplicación de teorías o de técnicas conocidas y en parte para estimular nuestra imaginación*" (Morton y Suárez, 2001, p.12). Estos modelos no son de relevancia en la práctica científica, su utilidad se hace evidente en la práctica comunicativa de la ciencia o, para nuestro caso, en la práctica docente. En el peor de los casos –casi siempre–, recurrimos a la modelación en una pizarra de aquellos conceptos que queremos explicar con la plena seguridad que así logramos representar muy bien el concepto y, además, que nuestros receptivos estudiantes así lo percibirán adecuadamente.

En esta sección, sometemos a discusión tres tipos de modelos que son posibles en cualquier actividad docente: los modelos para explicar, los modelos para inferir, y los modelos para intervenir. Los primeros son los tradicionales en



nuestros sistemas educativos; los segundos permiten realizar inferencias desde el objeto representado, el cual demanda o requiere su ampliación y/o adecuación al sistema que está siendo estudiado; y los últimos sólo son posibles si el modelo es interactivo lo que, obviamente, no es posible con recursos tradicionales en nuestra labor docente como son los libros en soporte de papel o las pizarras.

1.1. MODELOS PARA EXPLICAR – TRADICIÓN DOCENTE.

Las representaciones docentes carecen de efectividad, salvo que sean accesibles a los discentes. Una representación efectiva debe contener la suficiente información para que permita "percibir" el objeto o fenómeno representado y de ahí inferir a partir de la percepción. Una representación efectiva de la lemniscata de Bernoulli (Figura 1), por ejemplo, debe garantizar la percepción de los atributos de esta curva, de tal forma que sea posible inferir sus relaciones con otras curvas. El modelo, entonces, es factor clave para garantizar el éxito en los procesos comunicativos y perceptivos. Un modelo que permite una representación y comunicación efectiva de la curva lemniscata es más fácil de obtener desde la simulación digital, en tanto que muestra más información de sus propiedades y relaciones con otras curvas. No estamos afirmando que la comunicación tradicional no es efectiva, nuestra afirmación es que con un nuevo modelo de comunicación puede lograrse una mayor efectividad, reflejada en percepciones de mayor nivel. Sin embargo, en nuestra labor docente, los modelos o representaciones que utilizamos tienen usualmente un propósito: explicar.

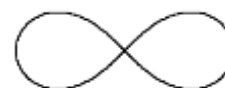


Figura 1.
Lemniscata de Bernoulli

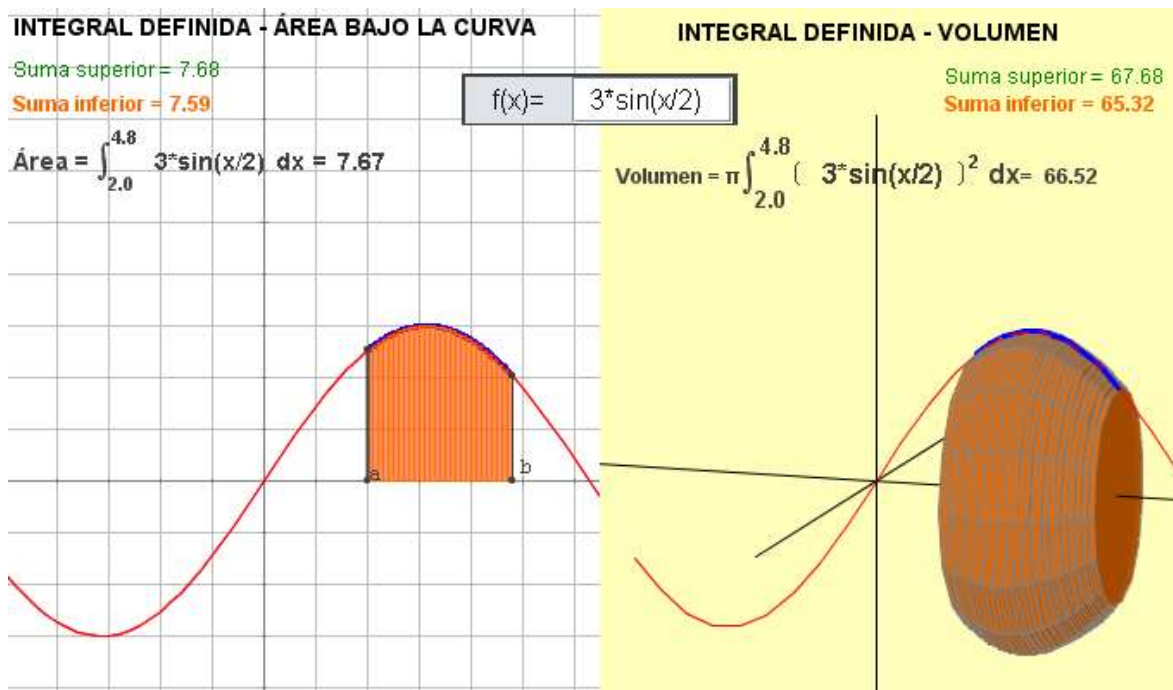


Figura 2. Modelo desarrollado con Descartes para representar volúmenes de revolución.

No obstante, desde un modelo digital podemos construir representaciones más efectivas porque no sólo explican, sino que permiten inferir desde el objeto representado; la modelación de un volumen de revolución, por ejemplo,



difícilmente permite inferencias en su representación en la pizarra. Es la misma limitación en la que nos está constriñendo el soporte estático que usamos en esta comunicación, en él se puede observar las imágenes de la Figura 2, pero no podremos generar en usted la inferencia que fácilmente se provocaría si pudiera observar aquí el modelo interactivo y animado a partir del que hemos obtenido esa simple instancia o representación estática. Para experimentar esa diferencia, que es la que queremos ponerle de manifiesto, puede acudir a los objetos interactivos desarrollados con Descartes que incluimos en las páginas web cuyas direcciones son:

https://proyectodescartes.org/iCartesiLibri/materiales_didacticos/Integrando_con_Paco/interactivos/interactivo63.html
https://proyectodescartes.org/iCartesiLibri/materiales_didacticos/Integrando_con_Paco/interactivos/interactivo64.html

1.2 MODELOS PARA INFERIR – PROPÓSITO DOCENTE

Todos tenemos claro qué competencias deben adquirir nuestros estudiantes. Pero, esa claridad se difumina cuando nos interrogamos acerca de cuánto contribuyen nuestras representaciones en el logro de esas competencias. Existen estudios que evidencian la efectividad de las representaciones en especial cuando son de tipo interactivo como las simulaciones. En nuestros propósitos docentes es cada vez más imperativo –se refleja incluso en las leyes educativas– el uso de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC) como herramienta que permita un mayor acercamiento a conceptos complejos: *"La tecnología de visualización puede apoyar el aprendizaje significativo, permitiendo la representación de imágenes espaciales y dinámicas. Tales imágenes pueden ilustrar y aclarar las relaciones entre conceptos complejos"* (Dori & Belcher, 2005, p.188). Modelos de simulación que activan, además, las emociones en los procesos de aprendizaje,

La enseñanza de la ciencia requiere que los materiales de aprendizaje se presenten no sólo a través de palabras —bien orales o escritas—, sino también a través de imágenes fijas y en movimiento, simulaciones, visualizaciones en 2D y 3D, gráficos e ilustraciones. Las imágenes mejoran a las palabras en el recuerdo de conceptos concretos. La teoría de codificación dual sugiere un modelo del conocimiento humano dividido en dos sistemas de procesamiento dominante: verbal y no verbal. El sistema verbal especializado en el procesamiento del lenguaje, mientras que el sistema no verbal incluye la visión y las emociones (Ibid, p.189).

No se trata de realizar grandes inversiones en modelos de simulación analógicos, que pueden ser justificables en laboratorios de investigación o de producción técnico-científica: *"...usualmente los modelos ocupan un espacio intermedio entre la representación y la experimentación"* (Knuuttila, 2005a, p.46). Los modelos de simulación no se circunscriben únicamente en los modelos físicos; los modelos computacionales, como los diseñados con la herramienta *Descartes* (Proyecto *Descartes*, 1998) pueden desempeñar funciones experimentales:

En muchas ciencias las cuestiones relacionadas con la medida se centran principalmente en las instrumentales, específicamente en el desarrollo de técnicas adecuadas para medir con exactitud y precisión determinada propiedad o



característica de un fenómeno, así como los métodos para la interpretación de esos resultados. Actualmente la simulación por ordenador puede acomodarse con facilidad en este contexto: el ordenador realiza las funciones del aparato y el acto de ejecutar la simulación es contemplado como un experimento numérico (Morrison, 2009, p.35).

El modelo, entonces, se convierte en una herramienta útil para revisar o construir las teorías (Hartmann, 2005) o, como lo enuncia Hacking "(...) *crear, producir, refinar y estabilizar fenómenos*" (Hacking, 1983b, p.259). Por otra parte, los modelos computacionales como los que se logra con las escenas interactivas de *Descartes* son objetos de conocimiento (Knuuttila, 2005a; 2005b) que permiten a los estudiantes realizar inferencias. Una explicación sencilla de las condiciones que debe tener un modelo, para caracterizarlo en esta tipología, la ofrece Contessa (2007, p.49) a partir del modelo propuesto por Suárez (2004, p.773):

"A representa a B solo si

(i) la fuerza representativa de A apunta hacia B, y

(ii) A permite, a aquellos agentes competentemente informados, obtener conclusiones específicas sobre B"

Existen, entonces, dos condiciones que un modelo tiene que satisfacer para representar el sistema: la primera condición es que el modelo es utilizado por alguien para representar el sistema y la segunda, que Contessa llama razonamiento subrogatorio, es que el modelo permite que sus usuarios realicen inferencias específicas del modelo al sistema. Si bien Contessa usa la terminología "razonamiento subrogatorio" es preciso aclarar que la primera propuesta conceptual en este sentido es debida a Mundy (1986). Esta expresión aparece por primera vez en Swoyer (1991), que plantea la importancia del razonamiento subrogatorio, como Mundy, en el contexto de una noción de representación preservadora de estructura. Concretamente, Swoyer, defiende que utilizamos representaciones de muchos tipos que no se pueden caracterizar adecuadamente mediante una sola noción de representación. De hecho, considera que casi cualquier cosa puede ser utilizada como representación de cualquier otra, aunque la importancia de la mayoría de las representaciones radica en que facultan el razonamiento subrogatorio, en que permiten razonar directamente sobre la representación para extraer conclusiones sobre el objeto representado. Esto es posible porque los objetos representantes comparten, de alguna manera, la estructura del sistema representado. Así pues, a juicio de Swoyer, para que sea posible el razonamiento subrogatorio ha de existir representación estructural (Larrañaga, 2009, p.56).

1.3 MODELOS PARA INTERVENIR – CONSTRUYENDO CONOCIMIENTO

Una de las características de los modelos es la posibilidad que brindan de conocer mejor los objetos o fenómenos del mundo y, en consecuencia, intervenirlos. Si aceptamos un modelo para experimentar, como los que hemos venido discutiendo, dicho modelo también interviene el mundo que representa:



La ciencia se dice que tiene dos objetivos: la teoría y el experimento. Teorías que tratan de decir cómo es el mundo. Experimentos, y la subsecuente tecnología posterior, para cambiar el mundo. Representamos e intervenimos. Representamos a fin de intervenir, e intervenimos a la luz de las representaciones. (Hacking, 1983a, p.31).

Si aceptáramos la propuesta de Hacking, la representación sería un paso previo a la intervención (Ibarra & Larrañaga, 2009); es decir, modelamos, experimentamos y luego intervenimos. Pero, el modelo no sólo interviene la teoría, también permite intervenir otros factores inherentes al fenómeno representado como su percepción. Los modelos ó simuladores, como representaciones, intervienen en los procesos cognitivos de los estudiantes. La percepción, indudablemente, será de un grado superior. El modelo, entonces, se constituye en un mediador entre el objeto o fenómeno representado y el estudiante, o entre la teoría y el estudiante, con dos posibles propósitos: que el estudiante intervenga en lo representado o que intervenga la teoría... que construya su propio conocimiento.

Los modelos que nos interesan, en el contexto de la efectividad de las representaciones, son aquellos que permiten experimentar, inferir e intervenir. Las escenas de *Descartes* que discutiremos en el siguiente apartado tienen, gozan implícitamente, de esas características.

2. MODELOS QUE INTERVIENEN LA REALIDAD

De un objeto o evento podemos realizar múltiples representaciones.

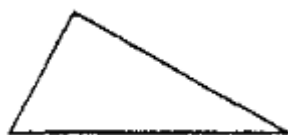


Figura 3. Triángulo, hueco triangular, cuña...

Wittgenstein (1953, p.200) nos ilustra un ejemplo sencillo a partir de la observación de un triángulo (Figura 3), que podría verse o interpretarse como un agujero triangular, o un dibujo geométrico apoyado en la base o colgado de una punta; como una montaña, como una cuña, como medio paralelogramo, etc. Esta representación simple es común que la construyamos en nuestra cotidianidad docente, sin detenernos a pensar en

las interpretaciones que hacen nuestros estudiantes. Parecen existir patrones o especies de reglas que nuestra mente fija en el transcurso de nuestra vida. Estos patrones también contribuyen a que tengamos varias representaciones de un mismo objeto u evento percibido. No se trata de algoritmos estáticos, son procesos que se enriquecen y cambian con nuestra experiencia. La imagen ambigua del pato-conejo de Jastrow (Figura 4) podemos verla, en principio, sólo como un pato, porque nuestro patrón de lectura de imágenes es de izquierda a derecha. Sólo cuando intentamos romper con el patrón, observamos otra imagen presente en la representación.



Figura 4. Pato o Conejo.

Así como podemos generar diferentes representaciones desde una misma realidad, nuestras representaciones también difieren de las generadas por otro sujeto perceptor, cuyos procesos mentales o formas de construir la representación difieren en grado o tienen patrones completamente distintos. Un experimento realizado por Shepard & Feng



(Pylyshyn, 2003, p.290) sobre el plegado de superficies (*Mental paper folding*) permitió evidenciar que dos intérpretes distintos, observando un objeto igual, generan representaciones distintas u operaciones mentales distintas. ¿Cómo intervenir en estas interpretaciones? La respuesta está en los modelos digitales interactivos.

2.1 INTERVINIENDO LA AMBIGÜEDAD PERCEPTUAL

En la *Gestalt* –escuela de psicología dedicada al estudio de la percepción– se habla de un principio denominado “percepción multiestable” en la que se presenta una tendencia en las experiencias de percepción de imágenes ambiguas a observar alternadamente dos o más interpretaciones de la imagen. Este principio es fácil de verificar en el Cubo de Necker. Obsérvese por unos segundos las versiones del cubo de Necker en las imágenes de la Figura 5. Este tipo de ambigüedad es la más conocida, en tanto que forma parte de nuestros primeros trazos geométricos de la escuela y que su dibujo en un papel no representa gran dificultad. Helmholtz en 1866 le dio importancia a la experiencia en el proceso perceptivo. Su teoría enfatizaba en el papel de los procesos mentales para la interpretación de las imágenes ambiguas a través de los estímulos que excitan el sistema nervioso. Usando el conocimiento previo, un observador formula hipótesis, o inferencias, sobre estas imágenes. En ese sentido, la percepción, según Helmholtz, es un proceso inductivo, que parte de imágenes específicas hasta inferir posibles objetos que las imágenes pudieran representar. Dado que este proceso ocurre en forma inconsciente, Helmholtz lo llamó inferencia inconsciente.

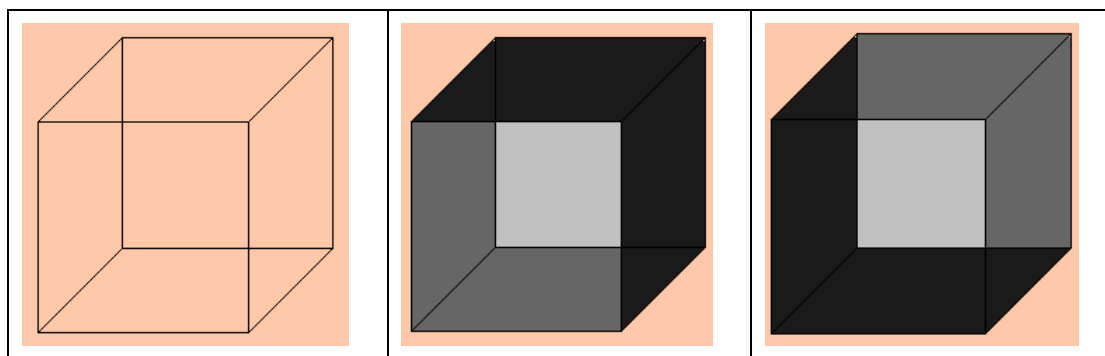


Figura 5. Modelo desarrollado con Descartes para representar la ambigüedad de Necker.

Otras imágenes ambiguas se desprenden del fenómeno del cubo de Necker (Figura 6). Estas nuevas imágenes se conocen como “efecto Necker”. La imagen reflejada, por ejemplo, se puede interpretar de formas diferentes: un cubo grande con un hueco pequeño en una esquina y tres paredes grandes con un cubo pequeño en la esquina.

Puede interactuar con los modelos realizados con Descartes en la dirección web:

https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/gestalt-JS/realidades.htm

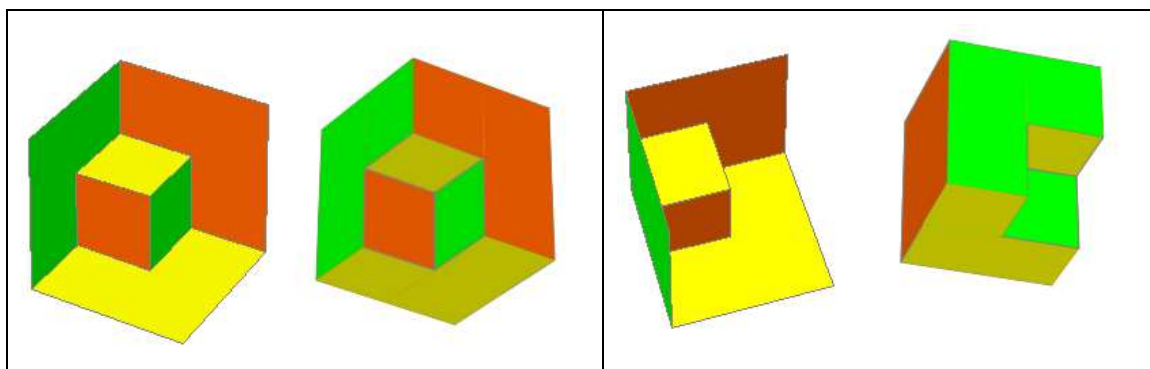


Figura 6. Modelo desarrollado con Descartes para representar el efecto Necker.

2.2 INTERVINIENDO LOS MOVIMIENTOS ILUSORIOS

Los seres humanos yerran constantemente en su percepción del movimiento rotatorio cuando es visto, observado, a través de una abertura. Maggie Shiffrar y Misha Pavel presentan una amplia discusión en torno a este fenómeno en su artículo "Percepts of Rigid Motion Within and Across Apertures" (Shiffrar & Pavel, 1991). Una abertura se constituye en una restricción para la percepción visual, a la vez que se convierte en parte del contexto del objeto percibido. A veces, este nuevo elemento del contexto es preferido por nuestro sistema visual, en tanto que es rígido y demanda menor esfuerzo neuronal. De esta forma, prima la restricción sobre los otros elementos en movimiento. Según Shiffrar & Pavel: "*The visual system has a preference to interpret the image as containing a single, rigid object*". Nuestro cerebro intenta representar la imagen en una escena coherente. En el "cuadrado palpitante", del que podemos observar algunas imágenes en la Figura 7, se ve poco la rotación del cuadrado cuando están presentes las aberturas, nuestra percepción se centra en lo que parece ser un crecimiento y decrecimiento continuo del mismo. Es decir, nuestro sistema visual se concentra en el movimiento más sensible, el de los bordes del cuadrado. Este movimiento hacia adentro y hacia afuera lo hace parecer palpitir. De nuevo la representación estática reflejada en esa figura no permite la observación del hecho descrito, que fácilmente puede percibirlo accediendo al enlace:

https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/gestalt-JS/geometricos6.htm

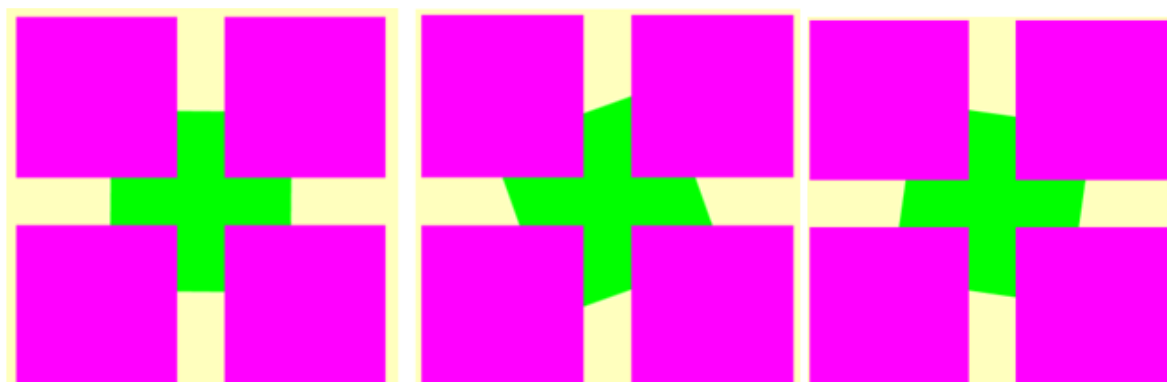


Figura 7. Imágenes del "cuadrado palpitante" de Pavel.



También en la ilusión de Adelson *et al.* (ver la Figura 8 y el objeto cartesiano insertado en la página:

https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/gestalt-JS/contexto.htm) se observa a través de la abertura un movimiento continuo en una dirección, siendo imposible identificar la verdadera dirección del movimiento, pues todos los puntos observables se mueven en el mismo sentido.



Figura 8. Difícil identificación del movimiento a través de una abertura.

Pero la imagen ilusoria de este tipo, que quizás es la más popular, es la bien conocida ilusión del "poste del barbero". En este caso la abertura está determinada por los soportes del poste. En las escenas desarrolladas con Descartes se evidencia la dirección real del movimiento cuando se quitan esos soportes. El sistema visual resuelve la ambigüedad del movimiento asumiendo una dirección de un soporte a otro. Observar la Figura 9 y acceder a la página web:

https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/gestalt-JS/index.htm#intro

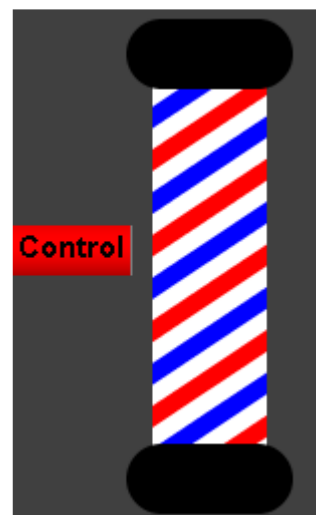


Figura 9. La ilusión del poste del barbero.

3. MODELANDO CON *DESCARTES*

La posibilidad de diseñar modelos que "simulen" un concepto matemático, físico o técnico en general es cada vez mayor. La implementación de las TIC a través de aplicaciones como *Descartes* permiten hoy la construcción de escenarios virtuales que transmiten mayores flujos de información al estudiante: los simuladores de vuelo, los simuladores de carreras, el cine 3D, las aplicaciones virtuales para las ciencias básicas (física, química, biología), los video juegos, y *Descartes*, evidencian un mayor acercamiento a la realidad desde la representación. Se generan múltiples escenarios que antes eran imposibles con los recursos que podían utilizarse en la construcción de las representaciones tradicionales en la docencia.

Los ejemplos elaborados con *Descartes* que hemos referenciado en esta comunicación se encuadran principalmente en la *Gestalt* y son sólo una pequeña fracción de un conjunto más amplio de representaciones consultables en la página web ya citada:

https://proyectodescartes.org/uudd/materiales_didacticos/gestalt-JS/index.htm#intro
así como en la página web del proyecto:

<https://proyectodescartes.org/descartescms/>

En ellas podemos observar como la herramienta *Descartes* permite la elaboración de simulaciones interactivas en base a las cuales se pueden construir



modelos didácticos de intervención. Modelos en los que la interacción a través de un simple botón o control pone de manifiesto puntos de vista que parecen evidentes una vez observados, pero que difícilmente pueden experimentarse sin estos filtros, pues el modelo conduce a una realidad perceptiva que esconde o hace translúcida la realidad que se busca representar. El modelo percibido representa una realidad diferente a la realidad modelada.

Por tanto, fácilmente, mediante una cuidada simplicidad, estos modelos desarrollados con *Descartes* permiten al usuario bien docente o bien discente poner de manifiesto las diversas percepciones de una realidad dependiente, de una ubicación que se puede situar tanto en la verdad como en la falacia, de un modelo que representa a una realidad o de una realidad que es sólo creada por el propio modelo. Una realidad dependiente del punto de vista considerado y que hace al perceptor situarse en diferentes planos conceptuales, ambos ciertos y ambos falsos. Una plasmación constatable, a través de la técnica informática actual, del planteamiento bellamente puesto de manifiesto por Pedro Calderón de la Barca en el soliloquio de Segismundo, ubicado en su obra "La vida es sueño":

...y en el mundo, en conclusión,
**todos sueñan lo que son,
aunque ninguno lo entiende.**

...

¿Qué es la vida? Un frenesí.
¿Qué es la vida? Una ilusión,
una sombra, una ficción,
y el mayor bien es pequeño:
**que toda la vida es sueño,
y los sueños, sueños son.**

Belleza literaria, que modela y transmite una belleza filosófica existencial. Belleza que también se plasma y refleja en la belleza técnica de los modelos desarrollados con *Descartes*, que a su vez se sustentan en la belleza de la Matemática sobre la que está desarrollada esta magnífica y educativa herramienta.

REFERENCIAS.

- Contessa, G., 2007. Scientific representation, interpretation, and surrogative reasoning. *Philosophy of Science*, 74, pp. 48-68.
- Dori, Y. & Belcher, J., 2005. Learning electromagnetism with visualizations and active learning. En: J.K. Gilbert, ed. 2005. *Models and modeling in science education*. Dordrecht: Springer, pp. 187-216.
- Hacking, I., 1983a. *Representar e intervenir*. México: Paidós, 1992.
- Hacking, I., 1983b. *Representing and intervening: introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hartmann, S., 2005. *Models as a tool for theory construction: some strategies of preliminary physics*. Disponible en:



- <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00002410/01/Models.pdf> [Consultado el 11 de septiembre de 2023].
- Ibarra, A. & Larrañaga, J. (2009). Los modelos de la ecología de poblaciones como representaciones interventivas. *Inédito*, 1-18.
- Knuuttila, T., 2005a. *Models as epistemic artefacts: toward a non-representationalist account of scientific representation*. Disponible en: <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/f2bdb11c-a704-436e-b679-29b6e756ca6b/> [Consultado el 11 de septiembre de 2023].
- Knuuttila, T., 2005b. Models, representation, and mediation. *Philosophy of Science*, 72, pp. 1260-1271.
- Larrañaga, J., 2009. *La constitución de una población: prácticas representacionales en ecología de poblaciones*. Tesis doctoral. Donostia: Universidad del País Vasco.
- Morrison, M., 2009. Models, measurement and computer simulation: the changing face of experimentation. *Philosophical Studies*, 153, pp. 33-57.
- Morton, A. & Suárez, M., 2001. Kinds of models. En: M.G. Anderson & P.D. Bates, eds. 2001. *Model validation: perspectives in hydrological science*. New York: John Wiley and Sons, Ltd, pp. 11-21.
- Mundy, B., 1986. On the general theory of meaningful representation. *Synthese*, 67(3), pp. 391-437.
- Proyecto Descartes, 1998. Página del proyecto. <https://proyectodescartes.org/descartescms/> [Consultado el 11 de septiembre de 2023]
- Pylyshyn, Z.W., 2003. *Seeing and visualizing: it's not what you think*. Cambridge: The MIT Press.
- Shiffrar, M. & Pavel, M., 1991. Percepts of Rigid Motion Within and Across Apertures. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 17(3), pp. 749-761.
- Suárez, M., 2004. An inferential conception of scientific representation. *Philosophy of Science*, 71 (5), pp. 767-779.
- Swoyer, C., 1991. Structural representations and surrogate reasoning. *Synthese*, 87(3), pp. 449-508.
- Wittgenstein, L., 1953. *Investigaciones filosóficas*. Traducción de A. García & U. Moulines. Barcelona: Ediciones Altaya, 1999.