

Uso de las TIC como tecnologías facilitadoras del aprendizaje. Ayudas gráficas para facilitar la visión espacial de superficies pvT en la asignatura Termodinámica

Marta Carsí Rosique^a, M. Carmen Juan Lizandra^b y Maria J. Sanchis Sánchez^c

^a Departamento de Termodinámica Aplicada. E.T.S.I.I. 

^b Departamento de Sistemas Informáticos y Computación. E.T.S.I.I. 

^c Departamento de Termodinámica Aplicada. E.T.S.I.I. 

How to cite: Marta Carsí Rosique, M. Carmen Juan Lizandra y Maria J. Sanchis Sánchez. 2023. Uso de las TIC como tecnologías facilitadoras del aprendizaje. Ayudas gráficas para facilitar la visión espacial de superficies pvT en la asignatura Termodinámica. En libro de actas: *IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16698>

Abstract

This paper proposes the use of graphical helps to facilitate the spatial vision of the three-dimensional pvT diagrams used in thermodynamics for the analysis of thermodynamic processes experienced by a simple substance. Specifically, we propose the use of 3D models built by 3D printing and the development of Augmented Reality (AR) applications to visualize thermodynamic projections autonomously by students both inside and outside the classroom. Both tools have constituted a significant advance in the students' understanding of the thermodynamic problem indicated, as reflected in the results obtained.

Keywords: *Graphicals helps, Thermodynamic, TIC, significative learning*

Resumen

En esta comunicación se propone el uso de ayudas gráficas para facilitar la visión espacial de los diagramas tridimensionales pvT empleados en Termodinámica para el análisis de los procesos termodinámicos experimentados por una sustancia simple. Concretamente se propone el uso de modelos 3D construidos mediante impresión 3D y el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada (RA) para visualizar las proyecciones termodinámicas de manera autónoma por parte del alumnado tanto dentro como fuera del aula. Ambas herramientas han constituido un avance significativo en la comprensión por parte del alumnado del problema termodinámico indicado, tal como se refleja en los resultados obtenidos.

Palabras clave: *ayudas gráficas, Termodinámica, TIC, aprendizaje significativo.*

1. Introducción

La Termodinámica es una asignatura comunmente obligatoria situada en los primeros cursos de las diversas titulaciones de ingeniería o ciencias. En particular, la experiencia en la que se basa este estudio está referida a la asignatura obligatoria de 4,5 créditos correspondiente al primer cuatrimestre del segundo curso de diversos grados de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universitat Politècnica de València. Estos grados son el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, Grado en Ingeniería Química, Grado en Ingeniería de Organización Industrial y Grado en Ingeniería de la Energía. El número de alumnos que cursan la asignatura cada curso académico se sitúa en torno a los 500 alumnos.

En Termodinámica son ampliamente recogidas en la literatura las dificultades de los alumnos en la comprensión de diversos conceptos como pueden ser la entropía (Atarés, 2021), el calor y la temperatura. Esto puede deberse al uso de estos términos en el habla coloquial y también a las interpretaciones que hacen los estudiantes de sus experiencias cotidianas (Jasien, 2002). Sin embargo, existen otras dificultades, no menos importantes, posiblemente asociadas a su consideración como una materia abstracta, a las dificultades encontradas por el alumnado para su correcta comprensión o a la necesidad de contar con unos sólidos conocimientos previos en disciplinas como las matemáticas, física, etc. y su correcta relación.

En la asignatura Termodinámica, el programa formativo debe posibilitar la ampliación de conocimientos y consecución de resultados de aprendizaje en las subsiguientes materias cursadas y debe preparar a los graduados para la adquisición de competencias para el desarrollo de su labor profesional.

En el caso de la asignatura Termodinámica, las competencias esenciales a adquirir por el alumnado en base a su posterior práctica profesional se detallan a continuación. El alumnado será capaz de:

- Determinar las propiedades termodinámicas de sustancias puras. Localizar y manejar información de propiedades termodinámicas (tablas, gráficos, etc.)
- Análisis de las leyes de la Termodinámica
- Realizar balances energéticos en procesos industriales
- Estudio y optimización de los ciclos termodinámicos aplicados a máquinas térmicas

Para alcanzar las competencias detalladas es esencial que el alumnado alcance un entendimiento cualitativo y profundo de los conceptos que de forma gradual se presentan en la asignatura. Ello comienza con la adecuada comprensión de las propiedades termodinámicas de los sistemas (Glasser, 2004), y de cómo estas cambian cuando el sistema experimenta un proceso termodinámico, conceptos que deben de ser superados para llevar a cabo un análisis termodinámico de forma correcta.

El análisis de cualquier proceso termodinámico requiere del uso de las propiedades termodinámicas de la sustancia. Para este análisis necesitamos conocer en qué fase o fases se encuentra la sustancia implicada. Una comprensión adecuada del proceso no requiere únicamente del conocimiento de tales propiedades, se requiere adicionalmente poder ubicar los diferentes estados alcanzados por el sistema durante el proceso en los diagramas termodinámicos.

El estado de una sustancia simple se determina mediante cualquiera de dos tipos de propiedades intensivas e independientes. Pudiéndose determinar la tercera variable a partir de esa pareja de dos variables. Generalmente, por su facilidad de medida, son las variables presión y temperatura las variables que

habitualmente son conocidas para un determinado estado termodinámico. A partir de estas dos variables puede determinarse la variable volumen específico o densidad. De la misma manera, a partir de las parejas de variables de un estado termodinámico, temperatura y volumen, o presión y volumen, pueden determinarse respectivamente las variables presión y temperatura.

Para comprender de forma completa el comportamiento de las sustancias puras es necesario alcanzar la comprensión de los diagramas de propiedades, especialmente los diagramas de propiedades pvT . Al tratarse de tres variables termodinámicas estos diagramas son tridimensionales, lo que introduce una dificultad adicional de visualización (Herráez, 2009). Por esta razón, generalmente se trabaja con proyecciones bidimensionales de estos diagramas 3D, en los que una de las variables permanece constante.

A lo largo de la práctica docente de la asignatura Termodinámica, las autoras han observado las dificultades experimentadas por el alumnado para la correcta visualización de estas proyecciones. Especialmente en lo referente a la proyección en el plano $p-T$. Esto constituye un desafío para la correcta comprensión de los diagramas de propiedades termodinámicas pvT , la determinación de las mismas y el estudio de los procesos experimentados por los sistemas termodinámicos.

Tras evidenciar repetidamente la dificultad manifestada por el alumnado, Coch Frugoni et al. propusieron la construcción de estos diagramas tridimensionales empleando plantillas de cartón con el objetivo de su superación y posibilitar un aprendizaje significativo en el alumnado (Coch Frugoni, 1984). Sin embargo, estos modelos resultan poco atractivos y de manejo poco práctico. Por el contrario, el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en las aulas se ha revelado como una alternativa para la introducción de nuevos recursos que favorecen el aprendizaje significativo. Así mismo, posibilitan el uso de metodologías conducentes a mejorar la comprensión de conceptos relacionados con un tema específico, amplifican las posibles estrategias de enseñanza y contribuyen a que el alumnado adquiera una dimensión de mayor responsabilidad hacia su propio proceso de enseñanza/aprendizaje.

Es por ello que se propone el desarrollo de una herramienta TIC encaminada a facilitar al alumnado la visualización y comprensión de los diagramas termodinámicos tridimensionales y sus proyecciones bidimensionales de propiedades termodinámicas pvT .

2. Objetivos

Esta propuesta tiene como objetivo principal el proporcionar una herramienta para una correcta comprensión de los diagramas termodinámicos de propiedades pvT de una sustancia pura, así como sus proyecciones en los planos $p-v$, $T-v$ y $p-T$. Esta herramienta es de especial interés para el alumnado que presenta dificultades en la visualización espacial.

Como objetivos específicos, se pretende generar objetos de aprendizaje que constituyan un apoyo para el alumnado en su proceso de comprensión y aprendizaje de los diagramas de propiedades termodinámicas y que mejoren su capacitación y cualificación. Adicionalmente, se busca posibilitar el aprendizaje autónomo del alumnado, por lo que uno de los objetivos es el diseño de un objeto de aprendizaje que pueda estar siempre disponible y ser fácilmente accesible para el alumnado tanto en el aula como fuera de ella.

3. Desarrollo de la innovación

Dentro de los diferentes objetos de aprendizaje a proponer, se ha considerado la utilización de modelos 3D y Realidad Aumentada (RA).

En ambas soluciones es necesario entender cómo esas superficies termodinámicas pueden expresarse matemáticamente.

En general, cualquier función matemática, f , de dos variables: $z = f(x, y)$ puede ser representada en un diagrama tridimensional, donde “ x ” e “ y ” son las ordenadas y abscisas en un plano y “ z ” la altura o tercera dimensión. La gráfica de una función de dos variables es el conjunto de puntos con coordenadas (x, y, z) en donde (x, y) está en el dominio de f y $z = f(x, y)$. Este conjunto de puntos forma una superficie en el espacio tridimensional. En el caso de la Figura 1, $z = x^2 - y^2$.

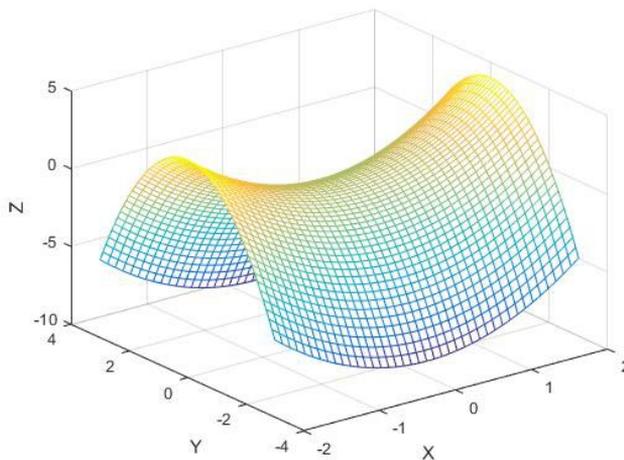


Figura 1. Superficie tridimensional correspondiente a la función $z = x^2 - y^2$

La relación entre las propiedades termodinámicas para un sistema simple es también, de acuerdo al postulado de estado, una función de dos variables. La temperatura y el volumen específico pueden considerarse independientes y la presión determinarse como una función de ambas: $p = p(T, v)$. De tal manera que podríamos considerar un eje coordinado en tres dimensiones y así colocar en cada eje presión, temperatura y volumen. La superficie $p-v-T$ resultante permite visualizar la relación existente entre las variables.

En la Figura 2 se muestra la superficie $p-v-T$ de una sustancia pura, que tal como el agua, se expande al congelarse.

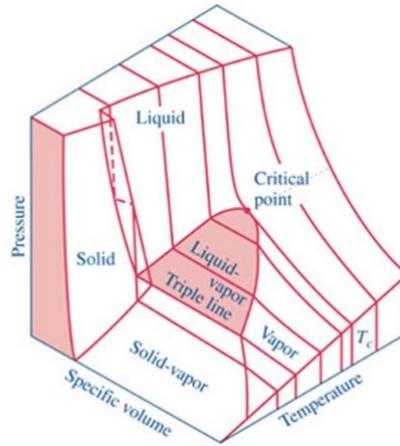


Figura 2. Superficie $p-v-T$ de una sustancia pura, tal como el agua, que expande al congelar (Imagen tomada del Moran Shapiro)

Las coordenadas de un punto de la superficie $p-v-T$ representan los valores que tendrían la presión, el volumen específico y la temperatura cuando la sustancia estuviera en equilibrio.

En las superficies $p-v-T$ de una sustancia pura hay regiones monofásicas rotuladas como sólido, líquido y vapor. En estas regiones de una sola fase, de acuerdo con la regla de las fases, el estado queda definido por dos cualesquiera de las propiedades presión, volumen específico y temperatura, puesto que todas éstas son independientes cuando sólo hay una fase presente. Localizadas entre las regiones monofásicas hay regiones bifásicas donde se presentan dos fases en equilibrio: líquido-vapor, sólido-líquido y sólido-vapor. Las dos fases pueden coexistir durante cambios de fase tales como vaporización, fusión y sublimación. Dentro de las regiones bifásicas, la presión y la temperatura no son independientes entre sí, es decir, una no puede cambiar sin cambiar la otra también. En estas regiones el estado no puede fijarse por la temperatura y la presión; en cambio queda fijado con el volumen específico y la presión o la temperatura. Por otra parte, las tres fases pueden coexistir en equilibrio sólo a lo largo de la línea denominada línea triple.

La superficie tridimensional $p-v-T$ es útil para destacar las relaciones generales entre las tres fases de la sustancia pura en estudio. Sin embargo, es conveniente, a menudo, trabajar con proyecciones bidimensionales de la superficie. Estas proyecciones se estudian a continuación.

Si la superficie $p-v-T$ se proyecta sobre el plano **presión-temperatura**, resulta un diagrama de propiedades conocido como diagrama de fases. Cuando la superficie se proyecta de este modo, las regiones bifásicas se reducen a líneas, como muestra la Figura 3. Un punto de cualquiera de estas líneas representa todas las mezclas bifásicas a la temperatura y presión correspondientes a ese punto. Por otra parte, en esta proyección las zonas monofásicas se encuentran a ambos lados de las líneas que representan los estados bifásicos.

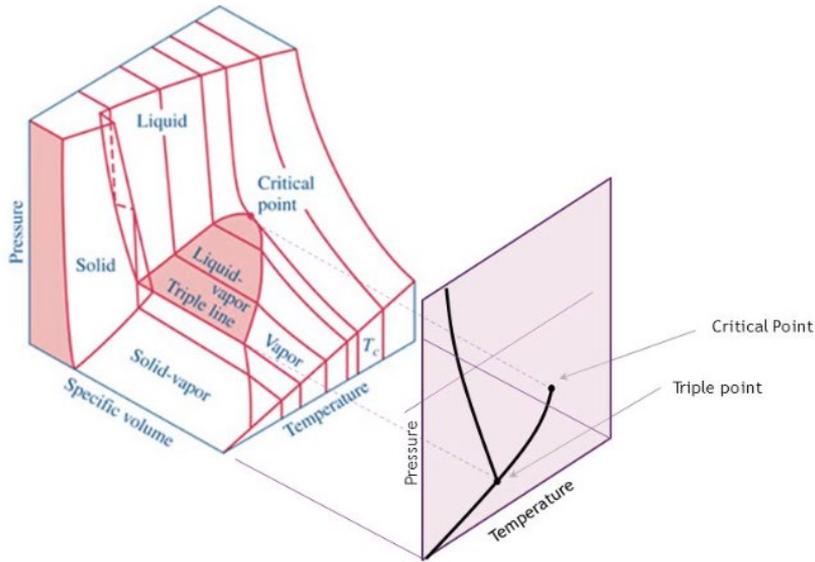


Figura 3. Superficie $p-vT$ y su proyección en el plano $p-T$ para una sustancia que expande al congelar (Imagen tomada del Moran Shapiro)

Al proyectar la superficie $p-vT$ sobre el plano **presión-volumen específico** se obtiene el diagrama $p-v$ como muestra la Figura 4.

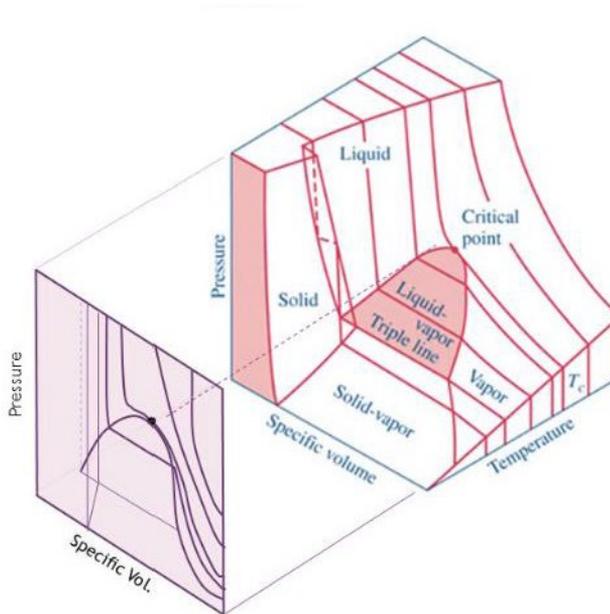


Figura 4. Superficie $p-vT$ y su proyección en el plano $p-v$ (Imagen tomada del Moran Shapiro)

Al proyectar las regiones de líquido, bifásica líquido-vapor y de vapor de la superficie $p-vT$ sobre el plano **temperatura-volumen específico** se obtiene el diagrama $T-v$ representado en la Figura 5.

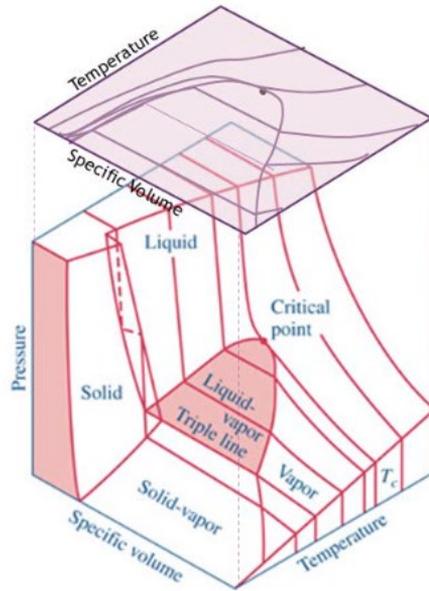


Figura 5. Superficie pvT y su proyección en el plano temperatura-volumen (Imagen tomada del Moran Shapiro)

4. Resultados

Tras las dificultades manifestadas por el alumnado en la comprensión de estas representaciones 3D y en la visualización de las proyecciones en el plano bidimensional, se ha propuesto el desarrollo de objetos de aprendizaje basados en la utilización de modelos 3D obtenidos mediante impresión 3D y el uso de tecnologías gráficas, concretamente, Realidad Aumentada (RA).

Modelos tridimensionales

En la Figura 6 se muestran imágenes de dos modelos tridimensionales desarrollados para ser usados por el alumnado durante la explicación del profesor en el aula, para facilitar su comprensión y reforzarla.

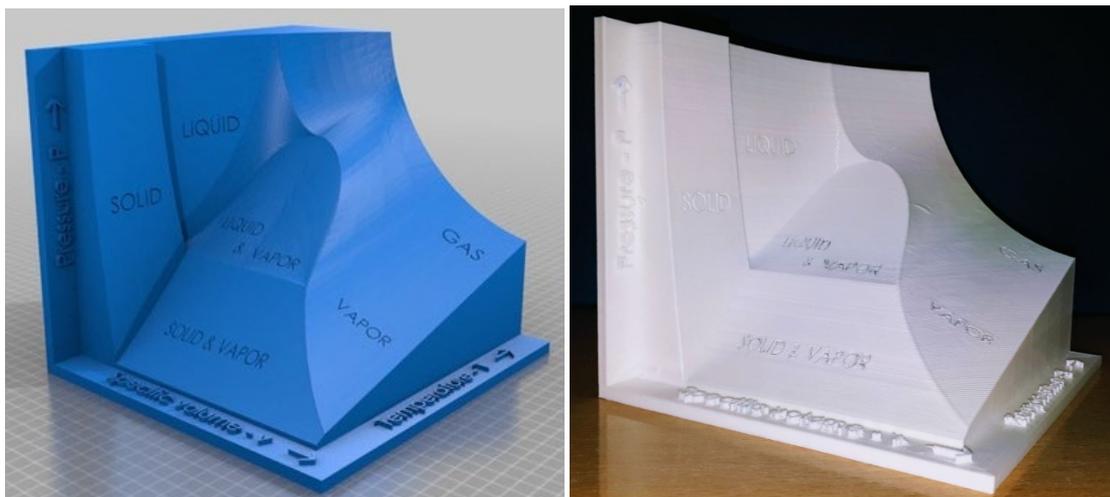


Figura 6. Modelo 3D de la superficie pV de una sustancia que expande al solidificar

Para la obtención del modelo, fue necesario partir previamente de un diseño realizado por ordenador con un programa CAD. Una vez creado este diseño, se imprimió en una impresora 3D de las utilizadas habitualmente para prototipado mediante la extrusión y deposición por capas de filamento del polímero termoplástico ácido poliláctico (PLA) de acuerdo a las dimensiones adecuadas.

Este objeto de aprendizaje fue empleado en el aula, y la posibilidad de su manipulación por parte del alumnado y su visualización desde distintos ángulos, se constituyó como una herramienta muy útil para su comprensión. Sin embargo, es evidente que, en grupos numerosos es necesario disponer de un número elevado de modelos para su manejo simultáneo por la totalidad del alumnado sin ralentizar la clase. Así mismo, con la finalidad de preservar y poder disponer del material en los diferentes grupos, el alumnado solo puede disponer del objeto de aprendizaje durante el período que permanece en el aula. Este hecho impediría su utilización durante el período de tiempo de trabajo autónomo requerido para el afianzamiento de la materia y/o resolución de problemas (establecido entre 25 y 30 horas de trabajo autónomo por crédito ECTS). En ese sentido, el impacto y alcance obtenido se vería reducido.

Adicionalmente, otro aspecto a tener en cuenta y que fue imposible predecir durante su desarrollo, (ya que, los resultados de este estudio han sido recopilados a lo largo de los cursos 2019-20, 2020-21, 2021-22 y 2022-23), ha sido la limitación de la manipulación de objetos en el aula debido a la pandemia de COVID-19.

Por esta razón, se ha evaluado la posibilidad de hacer uso de tecnologías gráficas de apoyo, mediante el desarrollo de aplicaciones informáticas de Realidad Aumentada (RA).

La RA es el término que se usa para definir la visión de un entorno físico del mundo real, a través de un dispositivo tecnológico, al que se añade información virtual a la información física ya existente; es decir, se añade una parte sintética virtual a la real.

De esta manera, los elementos físicos tangibles se combinan con elementos virtuales, creando así una realidad aumentada en tiempo real sobre la realidad material del mundo físico.

Se añade a la realidad material una realidad virtual generada digitalmente, en la que el usuario percibe una mezcla de las dos realidades.

Para llevar a cabo la aplicación de RA se importó en Unity el modelo 3D de la superficie a mostrar sobre la imagen objetivo. La Figura 7 muestra dicho modelo 3D en Unity.



Figura 7. Modelo 3D de la superficie a mostrar importado en Unity

Aplicación ARTherm

Como ejemplo se ha realizado una aplicación de RA desarrollada para que el alumnado pueda interactuar con una superficie pvT tridimensional en tiempo real durante la explicación del profesor haciendo uso simplemente de sus teléfonos móviles o tablets.

ARTherm muestra una superficie pvT en 3D sobre una imagen real. Gracias a ARTherm, el usuario percibe la imagen como si se tratase de una superficie pvT tridimensional real que estuviera frente a él.

La aplicación se ejecuta en un dispositivo con sistema operativo Android (y podría extenderse a IOS). ARTherm detecta la imagen objetivo y sobre ella, en el centro, aparecerá superpuesto el modelo 3D de una superficie pvT tridimensional virtual. Se muestra un ejemplo en la Figura 8.

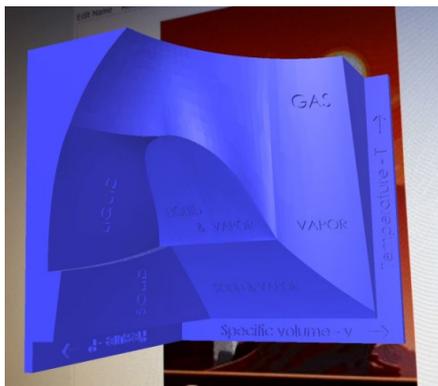


Figura 8. Ejemplo de funcionamiento de ARTherm en el que se muestra la superficie tridimensional virtual asociada a una imagen física

A partir de ese momento, se puede acercar, alejar, girar, subir, bajar o mover el dispositivo móvil a voluntad del usuario para observar la superficie pV desde cualquier posición. Otra posibilidad es mover la imagen objetivo física para que la superficie 3D se mueva acorde al movimiento de la misma.

La aplicación se podría complementar con toda aquella información adicional que aportara valor a la superficie tridimensional.

- La aplicación se ha desarrollado, a modo de ejemplo, utilizando Unity y Vuforia. **Unity**. Es un motor gráfico multiplataforma 2D y 3D. Soporta código escrito en C# (<https://unity.com/es>).
- **Vuforia**. Es un SDK de Realidad Aumentada multiplataforma. Como imágenes rastreables utiliza imágenes con características naturales (<https://developer.vuforia.com/>).

De esta forma se consigue aumentar el impacto y alcance de los resultados.

La aplicación constituye un objeto de aprendizaje que puede estar a disposición de un elevado número de alumnado de la asignatura Termodinámica de diversas titulaciones, así como del profesorado involucrado en su impartición.

Para ello sólo se requiere proporcionar un archivo APK y la imagen física que se utiliza como imagen a reconocer para su impresión. El archivo APK contiene la aplicación a instalar en un dispositivo con Sistema Operativo Android. Estos recursos se han dejado a disposición del alumnado a través de la plataforma PoliformaT de la asignatura, de forma que su acceso es posible desde cualquier punto.

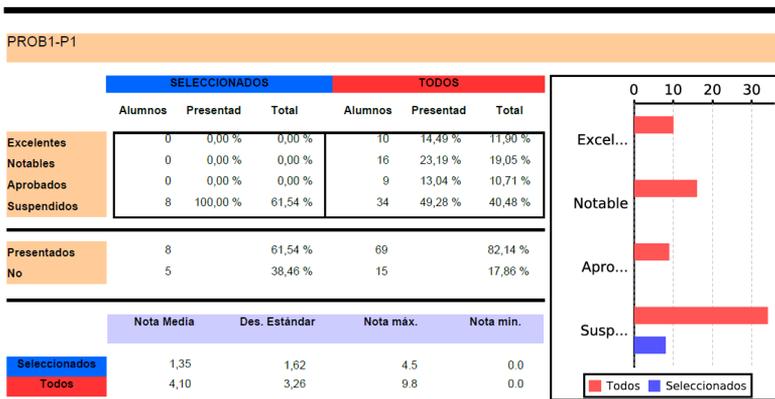
Los usuarios solo deben instalar la app mediante el archivo proporcionado en un Smartphone o Tablet e imprimir la imagen en una hoja de papel. Al ejecutar la aplicación con su dispositivo, aparece el modelo 3D con la posibilidad de interacción indicada.

A continuación, en el enlace adjunto se muestra un ejemplo de la visualización obtenida. <https://drive.google.com/file/d/1c03I9k7kyDXoY4XXdcKNiqzsitOzCyI5/view?usp=sharing>

5. Conclusiones

Se ha observado una mejora cuantificable en los resultados de las pruebas realizadas por los alumnos tanto en los exámenes de la asignatura como en los conocimientos previos requeridos para la comprensión y desarrollo de las prácticas de laboratorio de la misma. En los resultados obtenidos en el problema 1 del primer examen parcial de la asignatura (que corresponde a los conceptos trabajados a partir del modelo) se ha observado una mejora considerable de las calificaciones, pasando de un 49,28% de suspendidos y sólo un 14,49% de excelentes en el curso 2017-18, a un porcentaje de suspensos del 24,19% y un 40,32 % de excelentes, por ejemplo, para el curso 2022-23, tal como se recoge en la Figura 9. La validez del objeto de aprendizaje ha sido resaltada y puesta en valor por el alumnado en múltiples ocasiones de manera directa.

Asignatura 12276 TER Termodinámica (2017/2018)



Estadísticas

lunes 03 abril 2023

Asignatura 12276 TER Termodinámica (2022/2023)

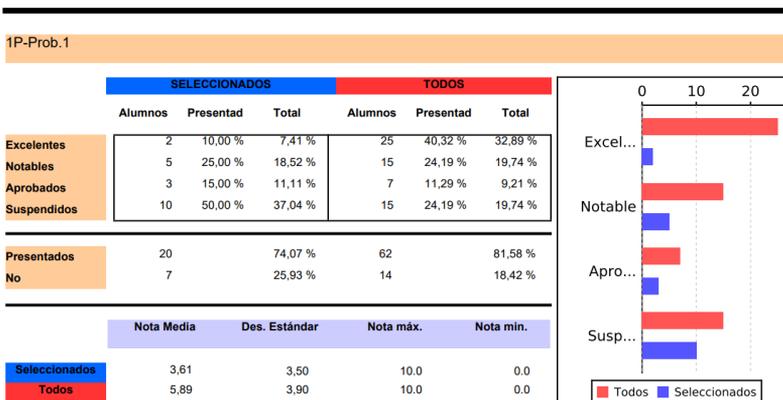


Figura 9. Resultados obtenidos en el problema 1 del primer examen parcial de la asignatura, que corresponde a los conceptos trabajados a partir del modelo en dos cursos académicos, uno previo uso de modelo (2017-18) y el segundo después de aplicar el modelo (2022-23)

Adicionalmente, haciendo una reflexión sobre lo manifestado por el alumnado y los resultados de las encuestas realizadas, el apartado en el que previamente se manifestaba mayor descontento era el relativo a si se proporciona por parte del profesor materiales (bibliografía, documentos, recursos didácticos en PoliformaT u otros espacios online, etc.) que resulten de ayuda para el aprendizaje de la asignatura. Tal como se recoge en la Figura 10, en este apartado, el resultado de las encuestas en el curso académico anterior al uso del modelo, 2018-19, fue de 6,79 sobre el 8,66 global. Ese valor, se ha visto considerablemente mejorado a partir de la introducción de los objetos de aprendizaje detallados anteriormente, obteniendo un valor de 9,9 sobre el valor de 9,8 global de los resultados de la encuesta de la asignatura, a partir de su implementación.

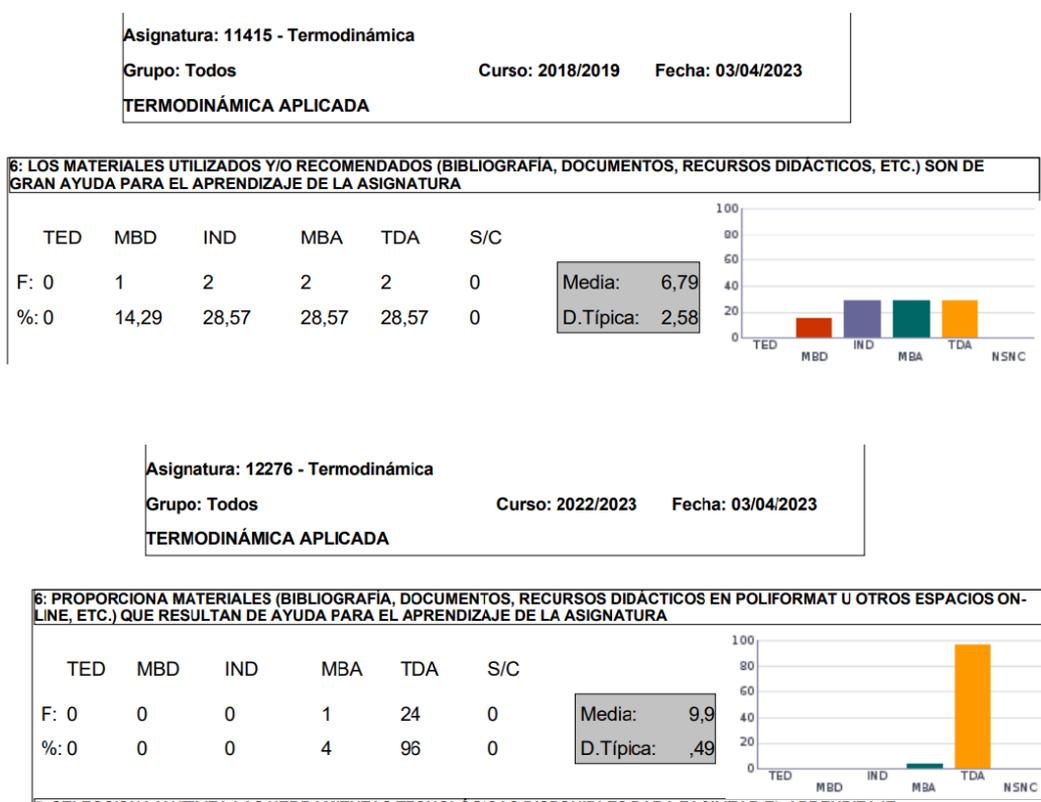


Figura 10. Resultados de las encuestas en el apartado de proporción de materiales que faciliten el aprendizaje de la asignatura en dos cursos académicos, uno anterior a la implantación del modelo (2018-19) y el segundo después de implementar el modelo (2022-23)

6. Referencias

Understanding of Elementary Concepts in Heat and Temperature among College Students and K-12 Teachers, Paul G. Jasien and Graham E. Oberem, *Journal of Chemical Education*, 79(7) , 889 (2002)

Helping Pregraduate Students Reach Deep Understanding of the Second Law of Thermodynamics, Lorena Atarés, M. Jose Canet, Macarena Trujillo, José Vte. Benlloch-Dualde, Javier Paricio Royo and Amparo Fernandez-March, *Education Science*, 11, 539 (2021)

Water, Water, Everywhere: Phase Diagrams of Ordinary Water Substance, Leslie. Glasser, *Journal of Chemical Education*, 81 (3), 414 (2004)

Interactive 3D Phase Diagrams Using Jmol, Angel Herráez, Robert M. Hanson, Leslie Glasser, *Journal of Chemical Education*, 86(5), 566 (2009)

A Simple and Economic Three-Dimensional Model for the PVT Surface of Water Juan A. Coch Frugoni, Marilene Zepka, Alvaro Rocha Figueira, and Miriam Coretti, *J. Chem. Educ.*, 61(12), 1048 (1984)