



Universidad de Valladolid

Trabajo de Fin de Máster

*“ANÁLISIS Y DETECCIÓN DE ERRORES
CONCEPTUALES BÁSICOS EN LA
COMPRESIÓN DEL PRIMER PRINCIPIO DE LA
TERMODINÁMICA EN BACHILLERATO”*

MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y
BACHILLERATO, FORMACIÓN PROFESIONAL Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

Autora: Carolina González de Castro

Tutor: Manuel Ángel González Delgado

CURSO 2021/2022

“Teaching thermal physics
Is as easy as a song:
You think you make it simpler
When you make it slightly wrong.”

Zemansky, 1970

*Con la entrega de este TFM acabo (al menos por ahora) mis estudios universitarios y quiero agradecer a quienes me habéis acompañado en este último año la paciencia y el consuelo mutuo. A mis compañeros del módulo genérico por muy buenos ratos; a los de especialidad (Cris, Jorge, Ana, Silvia, Manuel, Mónica M, Rober, Lourdes, Laura, Isolda, Bea, Mónica S. y Clara) por aguantarme como delegada y por el aprendizaje compartido; especialmente a **Laura** por la colaboración y por haber padecido juntas el desarrollo de nuestros TFMs desde el primer día hasta el último, así como a nuestro tutor Manuel Ángel porque a pesar de sus obligaciones siempre ha encontrado un hueco para nosotras y para las ingeniosas respuestas de nuestros alumnos. No quiero dejar de agradecer a mi colegio de prácticas, la que fue mi segunda casa durante 15 años y aun lo es hoy, por haberme acogido una vez más y haber participado tan gustosamente en este TFM, sobre todo a las profesoras de Química (Sara, Marta y Carolina). Por último, a mis amigos, a mi familia y en especial a mi madre por el sostén y los ánimos todo este tiempo.*

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN	3
2.1 BREVE INTRODUCCIÓN A CONCEPTOS DE TERMODINÁMICA	3
2.2 CONTEXTO EDUCATIVO	5
2.3 FINALIDAD Y RELEVANCIA DEL TFM	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y CONTENIDOS CURRICULARES	8
4.1 DIFICULTADES DE LOS ALUMNOS.....	8
4.2 CONTENIDOS DE TERMODINÁMICA EN EL CURRÍCULO	12
5. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	13
5.1 RECOGIDA DE DATOS: CUESTIONARIO.....	13
5.2 MUESTRA: CARACTERÍSTICAS Y CONTEXTO	13
5.3 CLAVES Y OBJETIVOS EPISTEMOLÓGICOS DE LA TERMODINÁMICA.....	14
5.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS: FENOMENOLOGÍA.....	17
5.5 HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS: PRUEBA DE FISHER.....	19
6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	20
6.1 CATEGORIZACIÓN DE LAS RESPUESTAS	20
Pregunta 1	21
Pregunta 2	24
Pregunta 3	27
Pregunta 4	31
Pregunta 5	34
Pregunta 6	37
Pregunta 7	39
Pregunta 8	44
6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO	46
Comparativa general.....	46
Comparativa por etapas	56
Comparativa de dos centros	66
Comparativa de dos grupos del mismo centro	70
7. CONCLUSIONES.....	74
7.1 FUTURAS CONSIDERACIONES.....	76
8. BIBLIOGRAFÍA	77
9. ANEXOS	80
ANEXO I. CUESTIONARIO REALIZADO	80
ANEXO II. COMPARATIVAS NO SIGNIFICATIVAS ENTRE LOS ALUMNOS DE 1º DE BACHILLERATO DE DOS CENTROS DISTINTOS.	84
ANEXO III. COMPARATIVAS NO SIGNIFICATIVAS ENTRE ALUMNOS DE CIENCIAS DE LA SALUD Y CIENCIAS TECNOLÓGICAS DEL CENTRO 1.	86
ANEXO IV. AUTOPERCEPCIÓN DE LOS CONOCIMIENTOS.....	88

1. Resumen

A lo largo de la historia de la enseñanza de las ciencias, en concreto de la física y la química, y especialmente en los últimos 50 años, se ha percibido que los alumnos encuentran una serie de dificultades a la hora de entender algunos conceptos de estas disciplinas.

Soslayado este escollo, preocupa su perpetuación tanto en el tiempo como su diseminación por la geografía mundial ya que implica un problema de fondo que necesita y requiere de extensas investigaciones educativas. En ese sentido son muchas las investigaciones educativas que se han ido realizando a lo largo de estas décadas intentando primero concretar las dificultades que hay que enfrentar y segundo intentando determinar cuáles son las mejores soluciones que se proponen para su abordaje.

Este trabajo de fin de máster busca perfilar las dificultades asociadas al Primer Principio de la Termodinámica en alumnos de varios niveles, desde primero de bachillerato hasta alumnos de posgrado. Para ello primero se ha realizado un análisis bibliográfico y de contenidos en el currículo de Educación Secundaria y de Bachillerato en Castilla y León, y se ha diseñado un cuestionario de respuesta abierta en la que se podrá observar el razonamiento que los alumnos realizan de las preguntas planteadas, cada una de ellas con una finalidad concreta.

Las respuestas que se han obtenido de 127 voluntarios se han clasificado gracias a las categorías establecidas mediante una metodología cualitativa conocida que es la fenomenografía. Estas categorizaciones que han sido realizadas de manera simultánea por dos observadoras se han sometido al índice de eficacia medido por la *kappa* de Cohen. El análisis de resultados ha permitido subrayar diferencias significativas mediante el test de Fisher y en última instancia obtener conclusiones relevantes acerca de los conocimientos sobre Termodinámica que muestran los alumnos.

Abstract

Throughout the history of science education, specifically physics and chemistry, and especially in the last 50 years, it has been perceived that students encounter a series of difficulties when it comes to understanding some concepts of these disciplines.

This obstacle appears as an important worry because of its perpetuation both in time and its dissemination throughout the world geography, since it implies a background problem that needs and requires extensive educational research. In this sense, there are many educational investigations that have been carried out over these decades, trying first to specify the difficulties that must be faced and in second place trying to determine what are the best solutions that are proposed for its approach.

This work seeks to outline the difficulties associated with the First Principle of Thermodynamics in students of various levels, from first year of *Bachillerato* to postgraduate students. To this end, a bibliographic and content analysis has been carried out in the scholar curriculum of Castilla y León, and an open-ended questionnaire has been designed in order to document the reasoning that students follow for the questions posed, each of them with a specific purpose.

The responses obtained from 127 volunteers have been classified thanks to the categories established using a known qualitative methodology that is phenomenography. These categorizations that have been carried out simultaneously by two observers have been subjected to the efficacy index measured by Cohen's *kappa*. The analysis of results has allowed to highlight significant differences through the Fisher test and ultimately to obtain relevant conclusions regarding the knowledge of students on Thermodynamics.

2. Introducción y justificación

2.1 Breve introducción a conceptos de Termodinámica

Los conocimientos termodinámicos se han ido construyendo a lo largo de varias décadas de aprendizaje científico. La eterna discusión de la diferenciación entre los dos conceptos físicos temperatura y calor se puede situar como primer referente del que parte esta rama de las ciencias. Fue superada la dicotomía en la medida de lo posible gracias a Joseph Black que construyó los termómetros (Furió-Gómez et al., 2007), que facilitaban la distinción entre los conceptos ya que se entendía la temperatura como la graduación que marca el termómetro al ponerse en contacto con un cuerpo, es decir, una intensidad, y el calor como el intercambio hasta alcanzar el equilibrio térmico entre dos cuerpos que se encuentran a distinta temperatura, para lo cual midió el tiempo que tardaba en variar la temperatura de un cuerpo sometido a una fuente de calor constante. De esta manera se percibe la relación que tiene el calor no solo con la variación de temperatura sino con la masa del cuerpo sobre el que esta se produce, y se entiende el calor como una cualidad medible.

Esta discusión que aparentemente se supera ya en el siglo XVIII aparece aun sin embargo como una constante borrasca en la mente de los estudiantes actuales, como se comenta más adelante en el apartado **DIFICULTADES DE LOS ALUMNOS**.

A partir de aquí se constituyeron las metodologías basadas en el calor, las calorimetrías, que permitían predecir la temperatura de equilibrio que se iba a alcanzar entre dos cuerpos de distinta temperatura en función de su masa (Furió-Gómez et al., 2007; Newburgh & Leff, 2011).

Bien entrado el siglo XIX se supera parcialmente este modelo calórico establecido 50 años antes y Mayer y Joule establecen relaciones cuantitativas entre el trabajo y el calor al tiempo que se introduce el concepto de energía. La energía se entiende como una función de los sistemas que les permite realizar un trabajo y se convierte en la estructura que explica las diferentes interacciones y cambios de la materia (Furió-Gómez et al., 2007). El análisis de Clausius de la relación trabajo y calor en un sistema dado hace necesario introducir el concepto energía interna del sistema como principal variable afectada de estas alteraciones mecánicas y térmicas (Furió-Gómez et al., 2007).

A partir del principio de Mayer-Joule se deriva la primera de las leyes de la Termodinámica, eje vertebrador de este trabajo. La expresión con la que se identifica esta ley:

$$\Delta U = Q + W \quad (\text{Ec. 1})$$

En ella se denota de manera evidente el vínculo existente entre la energía interna, el calor y trabajo que puede experimentar un cuerpo.

El concepto de trabajo es el mismo en todas las ramas de la ciencia, entendiéndose como un proceso finito dependiente en muchos casos del camino seguido para llevar al sistema desde un estado inicial a otro final. Ese trabajo como tal es medible, y si se somete a unas condiciones tales como paredes a una misma temperatura, entre las que no habría intercambio de calor, se definiría

$$W_{ad} = -\Delta U = -(U_f - U_i)$$

Sin embargo, si estuvieran a diferente temperatura las paredes se mediría W diferente a W_{ad} , y esa diferencia entre ambos es lo que se designa como calor, Q . De esta manera al reconfigurar los términos $Q = W - W_{ad} = W + \Delta U$ se deduce la primera ley de la Termodinámica (Ec. 1) (Zemansky, 1970).

Con todo, el calor y el trabajo no dejan de ser formas de transferencia energética, no es el objeto de interés en la transferencia, sino que es el nombre que se le da al proceso, por tanto, una vez cesa el flujo no tienen cabida, y son dos métodos de producir cambios en la energía interna del cuerpo. Son por tanto dos magnitudes que dependen del camino que siga el objeto para pasar de un estado a otro.

Para complementar el concepto de temperatura, se puede definir esta a través de la teoría cinética a partir del valor la energía cinética media de las partículas del sistema (Meltzer, 2004).

Con todo lo dicho queda claro que la Termodinámica es sin duda una materia abstracta y a menudo demandante a nivel conceptual, en la que de manera habitual se encuentran aristas complejas hasta para los más entendidos en la materia, como dice (Haddad, 2017): “ninguna otra disciplina en las ciencias matemáticas está repleta de tantas inconsistencias tanto lógicas como matemáticas, diferencias en definiciones, y notaciones mal definidas como la Termodinámica clásica”.

2.2 Contexto educativo

El tratamiento de la Termodinámica en la educación de los estudiantes desde hace un siglo aparece como un factor importante e ineludible de considerar cuando se quiere investigar sobre esta cuestión.

Las dificultades que surgen de estos conceptos se pueden etiquetar con distintas fuentes de origen, tantas y tan intrincadas que se solapan y dificultan encontrar una solución tangible.

El punto de partida de los estudiantes es determinante en el aprendizaje de cualquier conocimiento, ya que tal y como se comprende desde el aprendizaje constructivista el nuevo conocimiento se cimienta sobre conocimiento existente. Esto es, un buen entendimiento de los conceptos previos permite una adquisición y comprensión de los nuevos (Nugraha et al., 2017). En este sentido el estudio de la Termodinámica a menudo no ha sabido aprovechar esto a su favor, y a pesar de que acumulamos experiencias relacionadas con la Termodinámica por nuestra experiencia cotidiana, por lo general tienden a confundir a los estudiantes y generar ideas erróneas en ellos, y por ese motivo es tan complicado construir conocimiento de Termodinámica correcto sobre ellas (Carlton, 2000; Woldamanuel et al., 2015).

Desde la didáctica de las Ciencias (Furió-Gómez et al., 2007) se recalca que no se debe menospreciar la variable del docente, es decir, las visiones deformadas que en ocasiones tenemos los profesores sobre la ciencia y la construcción de la misma y que transmitimos de manera consciente o inconsciente a nuestros alumnos, condicionando de esta manera la enseñanza y el aprendizaje que reciben los estudiantes. En concreto en la Termodinámica aparece como barrera en el proceso enseñanza-aprendizaje la visión excesivamente formalista que se tiene sobre estos conceptos científicos.

Se muestra como necesario realizar un acercamiento entre el mundo teórico de los conocimientos científicos y su aplicación para resolver problemas que surgen en el mundo actual y especialmente en el desarrollo tecnocientífico. Este acercamiento pasa sin duda por el reconocimiento de todo lo mencionado y por una voluntad de solucionarlo involucrándose de manera activa, lo cual requiere saber valorar el contexto en el que se trabaja.

2.3 Finalidad y Relevancia del Trabajo

Queda claro por tanto que es la Termodinámica una rama de las ciencias que se ha ido construyendo sobre capas de complejidad a lo largo de los siglos. Es por tanto como tal compleja tanto para que los profesores puedan enseñar en toda su complejidad como para que los alumnos la comprendan en su magnitud.

Este trabajo de fin de máster se encuentra inmerso en un estudio a mayor escala que comienza a partir de este trabajo y en el cual se van a realizar comparativas y tratamiento de datos a través de diversas universidades españolas, por ello se trabaja en colaboración con Kristina Zuza y Jenaro Guisasola de la Universidad de País Vasco.

Se espera que a partir de los datos recabados y de las conclusiones certeras se puedan establecer una serie de pautas o diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje con fin último de ser utilizadas en la materia de física y química para lograr una mejor adquisición de los conocimientos de Termodinámica. Para poder hacerlo como es obvio es primero necesario conocer el punto de partida de los alumnos e identificar muy bien todas las nociones, erróneas o no, que puedan encontrarse y perpetuarse a lo largo de los años académicos, y esto es el fin último del presente trabajo.

3. Objetivos

Con este trabajo se persiguen los siguientes objetivos:

- I. Establecer, a través de la fenomenografía, unas categorías apropiadas que permitan una clasificación eficaz y válida de las respuestas para este y sucesivos estudios.
- II. Determinar el grado de adquisición de conocimiento y uso, por parte de los alumnos de diferentes niveles educativos, del Primer Principio de la Termodinámica, reconociendo las situaciones en las que ha de ser aplicado, utilizando correctamente la ecuación asociada y diferenciando las variables y magnitudes asociadas.
- III. Identificar el grado de confusión existente entre algunos conceptos que han sido previamente subrayados como conflictos, así como por ejemplo la diferencia entre calor y temperatura, o la relación entre temperatura y energía.
- IV. Analizar el uso de modelos microscópicos o macroscópicos en la resolución de los problemas planteados.
- V. Analizar si las dificultades observadas en relación con esta parte del temario de física y química encuentra una variación en función del nivel académico o el centro de estudios. Así estas variaciones se analizarán a lo largo de futuras investigaciones mediante comparativas entre centros y comunidades autónomas del estado Español.

4. Revisión bibliográfica y contenidos curriculares

4.1 Dificultades de los alumnos

Desde hace décadas se percatan los profesores de las asignaturas de ciencias que existe una deficiencia en la enseñanza y en el aprendizaje en el campo de la Termodinámica y los conceptos asociados a ella. Esto como tal ha sido objeto de estudio de sucesivas investigaciones educativas, y todas ellas apuntan claras coincidencias que señalan donde residen las dificultades principales, así como las posibles fuentes de las mismas. Si bien es cierto que hasta hace unos años no existían apenas trabajos de investigación educativa que abordaran esta temática concreta sobre Termodinámica (Loverude et al., 2002), a continuación se resaltan aquellos fundamentales de los últimos tiempos y sus conclusiones.

Entre las primeras investigaciones educativas llevadas a cabo abordando estos contenidos de manera más específica destaca la realizada con alumnos universitarios de la Universidad de Washington (Loverude et al., 2002) por ser la primera investigación de estudiantes universitarios de Física acerca del calor, trabajo y el Primer Principio (Meltzer, 2004).

Prácticamente todos los estudios que se mencionan a lo largo de este apartado coinciden en que la mayor dificultad a la que se enfrentan los estudiantes es la comprensión y distinción de los conceptos de la Termodinámica. Este problema si bien pudiera entenderse en los primeros contactos con la materia por la novedad de estos complejos términos, sorprende que se encuentre perpetuado a través de los diferentes niveles de enseñanza, incluyendo tanto alumnos de universidad (Rozier & Viennot, 1991) como docentes en formación (Furió Gómez & Furió Más, 2016).

Llama la atención la constancia con la que persiste el problema, ya que aparece hace varias generaciones (Zemansky, 1970) y hoy en día sigue vigente, y que en parte se explica por la excesiva familiaridad que tenemos, de manera indirecta, con las aplicaciones de esta rama en la cotidianeidad, que nos hace adquirir unos conceptos erróneos al respecto (Carlton, 2000).

Así se puede destacar:

- Se encuentra como uno de los problemas principales la distinción entre los términos de temperatura y calor, surgiendo a veces incluso problemas en la identificación de la energía interna. En algunos estudios (Nugraha et al., 2017) se resaltan las dificultades además sobre la velocidad de transferencia del calor.

- En ocasiones a esta mezcolanza de términos se suma el trabajo como proceso de transferencia energética y en contraposición al calor, así no saben distinguir si en un proceso a variación de energía interna se debe al trabajo o al calor (Chang, 2011). Algunos estudios (Meltzer, 2004) señalan que esta confusión entre el calor, el trabajo y la energía emerge de las unidades compartidas en las que se miden estas magnitudes.
- En varios de los estudios (Loverude et al., 2002; Rozier & Viennot, 1991) en los que los estudiantes han de enfrentarse a la resolución de problemas, se ve que no se plantean la resolución de los problemas dados a través de la aplicación del Primer Principio de la Termodinámica, sino que van de manera clara y evidente a la ley de los gases, que controlan a la perfección, ignorando las posibles indicaciones al respecto del trabajo o del calor que se incluyan en el enunciado. En este sentido preocupa esa pérdida de importancia que la Termodinámica merece, ya que no son capaces de aplicar el Primer Principio de la Termodinámica de manera efectiva ni siquiera tras haber recibido la instrucción pertinente (Meltzer, 2004).
- Varios autores (Loverude et al., 2002; Zamorano et al., 2006) señalan que las dificultades emergen principalmente por la falta de correspondencia que hay entre el modelo macroscópico de las leyes de la Termodinámica y el cinético molecular de la materia, encontrándose un salto de conexión entre ambos modelos. Los alumnos se expresan con incoherencia e incorrecciones en torno al modelo macroscópico, que tienen su base en el uso y abuso de un modelo microscópico no presentado correctamente, lo cual hace dudar a los autores de lo perjudicial de basar lo macroscópico en lo microscópico que puede confundir en última instancia a los estudiantes con respecto a la naturaleza de la ciencia. Se pueden encontrar dos estudios que abordan de manera más concreta las concepciones macroscópicas (Kautz, Heron, Loverude, et al., 2005) y microscópicas (Kautz, Heron, Shaffer, et al., 2005) y que surgieron a raíz de las observaciones realizadas en el punto anterior.
- A menudo cuando la temática abordada es compleja y requiere un esfuerzo adicional, los alumnos aplican su capacidad de simplificar las variables que intervienen (Rozier & Viennot, 1991). De esta manera son capaces de evitar la dificultad inherente a los problemas abordando las variables de manera temporal.

Pudiera parecer extraño que tantos y tan llamativos errores relacionados con este Primer Principio de la Termodinámica se hayan ido sucediendo generación tras generación, dejando el problema crezca en lugar de haber puesto remedio años atrás. Sin embargo ha de tenerse en

cuenta de que los profesores en muchas ocasiones no son conscientes de estas lagunas de conocimiento que subyacen debido a que la metodología tradicional basa la evaluación en pruebas en las que los alumnos han de plasmar aquello estudiado, y esto puede realizarse sin llegar a comprenderlo (Budiarti et al., 2017) con el riesgo asociado que conlleva (Carlton, 2000). Así se entiende la perpetuación de la situación.

Autores que han realizado análisis sobre cómo abordan la materia de la Termodinámica en los libros de texto (Tarsitani & Vicentini, 1996) recalcan el flaco favor que estos hacen al aprendizaje de los alumnos, contribuyendo a acrecentar estas dificultades mencionadas. Los propios autores de los libros son imprecisos al presentar la temática pues desarrollan maneras distintas de entender la materia y confluyen en discordancia tanto de estructura como de definición y comprensión de conceptos fundamentales. Es fundamental que los alumnos sean capaces de establecer esquemas y representaciones mentales suficientemente claros y precisos, y esta tarea se dificulta en la medida en que los libros confunden y no contribuyen a aclarar el previo razonamiento que tengan en la cabeza de las ideas y conceptos de la materia.

Entre los docentes con un amplio recorrido en la Termodinámica algunos como John O'Connell (O'Connell, 2019) son capaces de detallar algunos aspectos quizá más sutiles del proceso enseñanza-aprendizaje en relación a su experiencia con los alumnos. Este artículo recoge algunos dilemas a los que se enfrenta constantemente, de los cuales se puede sintetizar como algunos de los principales retos los siguientes:

- Necesidad de ajustar la cantidad y el tipo de contenido al nivel que se imparte.
- Tener en consideración la dificultad añadida que supone un elaborado desarrollo matemático, complejo incluso para aquellos que tienen una trayectoria en las ciencias.
- Equilibrar en la medida de lo posible la intangibilidad de esta disciplina que se basa en ecuaciones y no tanto en soluciones numéricas, con la búsqueda de situaciones y ejemplos reales en los que tenga una aplicación que los alumnos puedan reconocer.

No se puede ni se debe obviar las dificultades derivadas del uso de la lengua, complicaciones lingüísticas que no hacen si no complicar el correcto aprendizaje de los conceptos termodinámicos. Estas confusiones emergen del uso cotidiano de los términos en contextos diversos, que aunque giran en torno al mismo uso particular que tienen en la Termodinámica, difieren sutilmente, y por ello debemos como científicos ser especialmente cuidadosos a la hora de definir los términos y conceptos que utilicemos (Romer, 2001). Algunos puntos que se considera importante recalcar:

- La categoría a la que se debe adscribir el término “calor” puede parecer trivial fuera del campo del estudio de la lengua. Sin embargo, existe un debate y son múltiples los autores que recalcan la importancia de referirse correctamente, evidenciando que “calor” o “trabajo” no es lo que se transfiere, que es la energía, sino que es el nombre del proceso que ocurre. Así como a Mark Zemansky (Zemansky, 1970) le parece un error utilizar “heat” como verbo, (Romer, 2001) defienden el uso de ‘calor’ como un adjetivo o un verbo en lugar de como un sustantivo, acuñando en término jocoso a Q el nombre “Energía transferida por virtud de la diferencia de temperatura”. Otro autor (Jewett, 2008) retoma las palabras de Romer puntualizando que sí es un sustantivo, pero que se debe incidir más en que es el nombre del proceso y no lo que se transfiere.
- La incorrección de la disipación de la energía tampoco es desdeñable, ya que implica que el calor puede ser almacenado y esto no es cierto ya que se trata exclusivamente de un proceso transitorio (Newburgh & Leff, 2011).
- De esta manera también nos encontramos ante un oxímoron al decir “transferencia de calor” pues el término calor ya es en sí una referencia de transferencia. Sin embargo, el autor (Newburgh & Leff, 2011) asume con resignación que estos términos se mantendrán en la literatura.

Este ciclo que parece perpetuarse en el tiempo parece difícil de romper, y en ocasiones se menosprecia el papel que juega el profesor en todo este proceso, sin embargo, requiere especial interés la correcta formación de los futuros docentes de estas materias para que sean capaces de romper la problemática y que se garantice un mejor aprendizaje de la Termodinámica. Un alumno que no sabe se convierte en profesor que tampoco sabe, es por ello fundamental contar con profesores que tengan un dominio acerca de la materia impartida. Sin embargo y como es obvio, la instrucción no debe únicamente enfocarse en adquirir los conocimientos, ya que esta es condición necesaria pero no suficiente si se busca una enseñanza efectiva, sino en que el docente conozca la naturaleza de la ciencia, aquellas estrategias que se deben emplear sobre cómo se debe transmitir correctamente y conocer las dificultades a las que se enfrenta en su grupo de alumnos (Furió Gómez & Furió Más, 2016). De esta manera se busca solventar el problema de comunicación que parece existir entre docentes y estudiantes, que genera una brecha entre lo que se imparte y lo que se aprende (Tarsitani & Vicentini, 1996).

Hace tiempo que se aparcó la idea del docente como mero transmisor de conocimientos, este debe implicarse de manera activa en el aprendizaje diario de los alumnos.

4.2 Contenidos de Termodinámica en el currículo

Una vez soslayadas las dificultades conceptuales de la Termodinámica que aparecen de manera frecuente entre el alumnado en la mayoría de las etapas educativas, cabe preguntarse en qué punto de la enseñanza podría tener debilidades esa instrucción. Para poder plantearse esto es necesario primero conocer de qué manera se distribuyen los contenidos relacionados en los diferentes cursos de E.S.O. y Bachillerato en el territorio español. Para ello se ha acudido al Boletín Oficial del Estado (*Real Decreto 1105/2014*) y se ha ampliado a partir del BOCYL (*Orden EDU/362/2015 p.32123-32140* y *Orden EDU/363/2015 p.32598-32607*), y con todo ello en la **TABLA 1** se puede concretar los contenidos que se imparten al respecto en la asignatura de Física y Química en los diferentes cursos.

Tabla 1. Contenidos relativos a Termodinámica contemplados en el currículo oficial del Boletín Oficial de Castilla y León para las etapas de Educación Secundaria y Obligatoria y Bachillerato.

Curso	Bloque	Contenidos
2º E.S.O.	2: La materia	<ul style="list-style-type: none"> Estados de agregación. Cambios de estado. Modelo cinético-molecular.
	4: Energía	<ul style="list-style-type: none"> Energía. Unidades. Tipos de Energía. Transformaciones de la energía y su conservación. Energía térmica. El calor y la temperatura. Unidades. Instrumentos para medir la temperatura.
4º E.S.O.	3: La energía	<ul style="list-style-type: none"> El calor y el trabajo como transferencia de energía mecánica. Efectos del calor sobre los cuerpos. Cantidad de calor transferido en cambios de estado. Equilibrio térmico. Coeficiente de dilatación lineal. Calor específico y latente. Mecanismos de transmisión del calor.
1º Bachillerato	4: Transformaciones energéticas y espontaneidad de las reacciones químicas	<ul style="list-style-type: none"> La energía de las reacciones químicas. Sistemas termodinámicos. Estado de un sistema. Variables y funciones de estado. Trabajo mecánico de expansión-compresión de un gas. Primer Principio de la Termodinámica. Energía interna.

5. Metodología y plan de trabajo

El cumplimiento de los **OBJETIVOS** perseguidos en el presente trabajo conlleva una traslación a la realidad de nuestro trabajo. Por ello en la elaboración de este trabajo se ha considerado oportuno llevar a cabo una serie de preguntas que los estudiantes de diferentes niveles de enseñanza han de resolver, aportándonos los datos necesarios para desempeñar el **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS** pertinente que más adelante en este trabajo se desarrolla.

5.1 Recogida de datos: Cuestionario

El cuestionario (recogido en **ANEXO I. CUESTIONARIO REALIZADO**) consta de 8 preguntas de respuesta abierta en las cuales los alumnos deberán o bien explicar lo que ocurre a partir de un suceso (Preguntas 1,2,8), elegir una opción entre las propuestas y justificarla (Preguntas 3,4,5,6) o dilucidar si una serie de afirmaciones son verdaderas o falsas explicando el por qué de la decisión tomada (Pregunta 7). Este tipo de preguntas en las que es necesario que los alumnos desarrollen un razonamiento con respecto al planteamiento inicial es habitual en varios de los estudios consultados (Kautz, Heron, Loverude, et al., 2005; Kautz, Heron, Shaffer, et al., 2005; Loverude et al., 2002; Meltzer, 2004), si bien es cierto que estudios recientes (Brown & Singh, 2021) desarrollan la elaboración de cuestionarios de opción múltiple con respuesta única para satisfacer la demanda de la falta de este tipo de instrumentos evaluadores de cara a las investigaciones educativas, especialmente en el campo de la Termodinámica. Para otro tipo de estudios sería interesante la implementación de este cuestionario desarrollado pues permite medir la efectividad del uso de diferentes metodologías. Existen también otro tipo de recursos de tipo informático, como el software desarrollado por Thornton y Sokoloff, que emplean (Nugraha et al., 2017) para evaluar las concepciones relativas al calor y la temperatura.

5.2 Muestra: características y contexto

La muestra sobre la que se trabaja está constituida por 127 estudiantes de ciencias en diferentes niveles de enseñanza. De ellos 94 son alumnos que actualmente cursan Bachillerato (65 de 1º curso y 29 de 2º curso) y 33 alumnos con estudios superiores (12 de ellos aún estudiantes de Grado Universitario y 21 estudiantes que ya son titulados). Los alumnos de bachillerato pertenecen a dos centros educativos de la ciudad de Valladolid: Con el Centro 1 se corresponden 39 de 1º de Bachillerato y los 29 de 2º de Bachillerato mientras que con el Centro 2 los 26 alumnos de 1º de Bachillerato restantes. Los alumnos universitarios pertenecen a distintos estudios, pero todos ellos de las ramas de ciencias.

En cuanto a la ubicación del presente estudio con respecto a la instrucción, se ha considerado oportuno que a los alumnos no solo ya se les haya instruido sobre la materia, sino que además hayan sido examinados de la misma antes de realizar el cuestionario. De esta manera se podrá evaluar cuánta información al respecto de lo que han aprendido sobre Termodinámica retienen los estudiantes transcurrido un tiempo.

En los centros escolares se ha llevado a cabo el cuestionario de manera presencial mientras que los datos de grado y postgrado se han recogido a través de un formulario online.

5.3 Claves y objetivos epistemológicos de la Termodinámica

El análisis epistemológico de la Termodinámica ha de presentarse como un aspecto imprescindible primero a la hora de impartir la materia, y en segundo lugar para evaluar la adquisición de la misma. Esto es pues “considera la estructura interna del dominio científico elegido para justificar una propuesta para la construcción de ese conocimiento en un entorno educativo específico. El resultado es un conjunto de ideas clave que deben ser articuladas para enseñar a los estudiantes” (Guisasola Aranzabal et al., 2021, p.9).

Dado que este trabajo se centra en la segunda parte, evaluar los conocimientos adquiridos, a continuación, se muestran las claves del análisis epistemológico. Son estas ideas clave junto con los estándares de aprendizaje establecidos en los contenidos antes mencionados del BOCYL (**TABLA 1**) las que permiten establecer los indicadores de aprendizaje que se muestran en la **TABLA 2** y que tienen como fin último cumplir con los objetivos de aprendizaje fijados.

Tabla 2. Claves epistemológicas e indicadores de aprendizaje para Termodinámica.

Elementos de la epistemología del Primer Principio de la Termodinámica	Indicadores de aprendizaje
C.1. La energía es la capacidad que tiene un sistema para producir cambios o transformaciones.	I.1. En un sistema: <ul style="list-style-type: none"> I.1.1. Reconoce y define la energía y la expresa en su unidad correspondiente del Sistema Internacional. I.1.2. Entiende el principio de conservación de la energía, esta no se crea ni se destruye, sino que se transfiere, disipa o almacena. I.1.3. Relaciona la energía e identifica los diferentes tipos con los cambios que se produzcan

<p>C.2. La transferencia energética se pone de manifiesto en múltiples situaciones de la vida cotidiana a través de diversas maneras, de las cuales se pueden destacar el calor y el trabajo.</p>	<p>I.2. Para un sistema:</p> <p>I.2.1. Identifica el calor y el trabajo como formas de intercambio energético, diferenciando las acepciones coloquiales de estos términos del significado científico.</p> <p>I.2.2. Reconoce bajo qué condiciones intercambia energía en forma de trabajo o de calor.</p>
<p>C.3. El sistema y el entorno son dos compartimentos distintos entre los cuales se puede establecer una relación en atención al intercambio de materia y energía.</p>	<p>I.3. Para un sistema dado:</p> <p>I.3.1. Reconoce y distingue ambos compartimentos</p> <p>I.3.2. Define el tipo de intercambio que se establece entre ellos en función del tipo de sistema (adiabático, cerrado, abierto...)</p>
<p>C.4. La energía interna de un sistema aparece como una medida de la energía que tienen las partículas que lo conforman.</p>	<p>I.4. Sabe explicar el concepto de temperatura en términos de la teoría cinético-molecular y es capaz de diferenciar entre temperatura, energía y calor.</p>
<p>C.5. En un sistema su temperatura es una medida estadística de la energía interna de las partículas del mismo</p>	
<p>C.6. Si el sistema y el entorno se encuentran con una diferencia de temperatura, energía interna, se puede llegar al equilibrio mediante intercambio de calor.</p>	
<p>C.7. La energía interna de un sistema podrá variar en función de su interacción con el entorno.</p>	<p>I.5. Para un sistema dado:</p> <p>I.5.1. Reconoce el Primer Principio de la Termodinámica como el principio de la conservación de la energía en sistemas en los que se producen intercambios de calor y trabajo.</p> <p>I.5.2. Aplica el Primer Principio para relacionar la variación de energía interna en un proceso termodinámico con el calor absorbido o desprendido y con el trabajo realizado en el proceso.</p> <p>I.5.3. Escribe la ecuación que regula esa relación</p>
<p>C.8. La energía interna de un sistema permanecerá constante siempre y cuando la energía intercambiada en forma de trabajo sea de igual valor pero signo contrario al calor.</p>	

Todas las preguntas que se contemplan en el cuestionario tienen un objetivo concreto y preciso que concuerdan con los indicadores de aprendizaje que se recogen en la **TABLA 2**.

En la **TABLA 3** se recogen para cada una de ellas el indicador o indicadores que se ajustan más al objetivo perseguido en ella, aunque todos ellos están presentes en todas las preguntas, y un resumen de la idea principal que se espera en respuesta a las diferentes preguntas.

Tabla 3. Relación entre las preguntas del cuestionario realizado y los indicadores de aprendizaje mencionados.

Pregunta	Indicadores de aprendizaje	Idea principal
1	I.2. I.4.	Distinguir las variables calor y temperatura, así como la relación entre la temperatura y la energía interna a través del Primer Principio en una situación de compresión adiabática
2	I.5.	Deducir la variación de los parámetros (principalmente la temperatura) en un sistema aislado a partir del Primer Principio
3	I.4. I.5.	Verificar el tipo de modelo (macroscópico o microscópico) que se adopta ante una situación cotidiana
4	I.2. I.4. I.5.	Aplicar el Primer Principio de la Termodinámica entendiendo la diferencia entre calor y temperatura, así como la dirección de transferencia energética
5	I.3. I.4. I.5.	Identificar correctamente la relación entre temperatura y energía interna y el vínculo de estas con el proceso de transferencia energética que se lleva a cabo mediante el uso del Primer Principio de la Termodinámica.
6		
7	I.1. I.2. I.3.	Determinar el aprendizaje de conceptos relacionados con la Termodinámica
8	I.3. I.4. I.5.	Aplicar el primer principio de la Termodinámica en un sistema adiabático reconociendo la relación entre temperatura y energía interna

5.4 Metodología de análisis: Fenomenografía

El análisis de las respuestas a las preguntas que se plantean en el cuestionario se ha optado por realizarlo a través de una metodología cualitativa concreta que se conoce como Fenomenografía. Esta se ha aplicado en otros trabajos de fin de master (Leturiondo Uriona, 2022) y en investigaciones de mayor impacto (Campos et al., 2021) sobre temas relacionados.

La metodología está basada en la idea de que cada fenómeno o principio se puede entender “en un número limitado de maneras cualitativas” (Marton, 1986), es decir, aunque la manera de entender el mundo y las experiencias que nos rodean se podría decir que es única para cada quien, al final existen una serie de concepciones y experiencias comunes que permiten establecer patrones de respuesta. Por tanto, se puede definir la fenomenografía como un método de investigación que permite “mapear las formas cualitativamente diferentes en que las personas experimentan, conceptualizan, perciben y comprenden diversos aspectos y fenómenos en el mundo que los rodea” (p.31 Marton, 1986). De esta manera la fenomenografía se preocupa de las relaciones que se establecen entre los humanos y el mundo que les rodea, en las concepciones erróneas que se albergan sobre la realidad, pero siempre de manera interrelacionada y no considerando los fenómenos y las concepciones sobre ellos como independiente del sujeto que los experimenta.

Esta metodología ha resultado a lo largo de las últimas cuatro décadas altamente beneficiosa en el campo de la investigación en el aprendizaje de los estudiantes (Richardson, 1999). Además, se emplea para el análisis de preguntas de respuesta abierta permitiendo dirimir no solo entre respuestas correctas e incorrectas sino las dificultades que surjan de la temática abordada, permitiendo evaluar la evolución de estas y establecer una gradación, y es por todo ello que se ha considerado la mejor metodología para la investigación llevada a cabo para este trabajo de fin de máster.

Por tanto, el modo de proceder para la aplicación de esta metodología implica que, una vez obtenidos los datos, primero ha de evaluarse al menos un cuarto de las respuestas obtenidas de modo que a partir de ellas se puedan establecer unas categorías preliminares en cuanto a la manera de razonar que tienen los alumnos para cada una de las preguntas realizadas. A partir de esta primera clasificación se procede a categorizar todas las respuestas, y en caso de que se perciba la necesidad de establecer alguna nueva categoría esta se instaure y se revise de nuevo todas las respuestas que pudieran encajar en ella.

En segundo lugar, otra persona investigadora ha de clasificar las respuestas en las categorías construidas para poder evaluar la eficacia de las mismas. Esta eficacia se mide a través del coeficiente *kappa* de Cohen, que es una herramienta que mide la concordancia entre ambos correctores considerando las interpretaciones subjetivas. En definitiva, sirve como un parámetro que da una medida cuantitativa del acuerdo entre los correctores. *Kappa* puede tomar valores entre -1 y 1, siendo 0 el resultado que cabría esperar de haber asignado las categorías de manera aleatoria, un número negativo implicaría que son incluso más diferentes de lo que cabría esperar con respuestas aleatorias, y 1 indicaría un acuerdo perfecto entre ambos observadores (Viera & Garrett, 2005). En la **TABLA 4** se obtiene una idea de lo óptimo del valor alcanzado.

Tabla 4. Interpretación del valor de Kappa. Adaptada de (Viera & Garrett, 2005).

Valor de <i>Kappa</i>	Acuerdo
<0	Menos que casual
0,01-0,20	Leve
0,21-0,40	Justo
0,41-0,60	Moderado
0,61-0,80	Sustancial
0,81-0,99	Casi perfecto

De esta manera se entiende que la categorización realizada será válida y los resultados fiables cuanto nos encontremos con $0,8 \leq \kappa \leq 1$. Si el valor está fuera del rango entonces quizá haya que replantear la clasificación. El cálculo de la *kappa* se realiza de la siguiente manera:

$$\kappa = \frac{P_0 - P_E}{1 - P_E} \quad (\text{Ec. 2})$$

P_0 hace referencia a la probabilidad de concordancia entre los dos correctores mientras que P_E es la probabilidad hipotética de acuerdo por casualidad (Cohen, 1960; Gwet, 2002).

El análisis de datos se ha llevado a cabo en colaboración con grupos de investigación docente entre los que destaca Genaro Zavala, Tecnológico de Monterrey, o Jenaro Guisasola y Kristina Zuza de la Universidad de País Vasco, quienes nos han aportado las herramientas de análisis desarrolladas por ellos, y que por tanto han sido empleadas en este trabajo.

5.5 Herramientas de análisis: prueba de Fisher

A la hora de hacer comparativas entre dos grupos de estudiantes es necesario utilizar como herramienta la prueba de Fisher, ya que esta nos dirá si las diferencias son o no significativas. Esto nos permitirá sacar conclusiones en función de los grupos comparados, pues en esta investigación se comparará tanto por nivel educativo de los estudiantes como por centro de procedencia en caso de los alumnos de 1º de bachillerato.

Se va a emplear la prueba de Fisher de dos colas que se calcula de la siguiente manera (Fisher, 1922),

$$p = \frac{(a + b)!(c + d)!(a + c)!(b + d)!}{a!b!c!d!(a + b + c + d)!} \quad (\text{Ec. 3})$$

$a \rightarrow$ Frecuencias de respuestas correctas grupo 1

$b \rightarrow$ Frecuencias de respuestas incorrectas grupo 1

$c \rightarrow$ Frecuencias de respuestas correctas grupo 2

$d \rightarrow$ Frecuencias de respuestas incorrectas grupo 2

teniendo en cuenta que se hará entre dos grupos cualesquiera, grupos 1 y 2. Considerando como hipótesis nula que no hay diferencias y como hipótesis alternativa que sí las hay, se podrá considerar rechazada la primera y por tanto las diferencias serán significativas siempre y cuando $p < 0,05$.

6. Análisis de los resultados

En este apartado se recogen los resultados que se han extraído de las evaluaciones llevadas a cabo para la investigación. En primer lugar, se detalla la categorización obtenida mediante el método de fenomenografía, así como la eficacia asociada medida a través de la *kappa* de Cohen. Posteriormente se abordan diferentes comparativas que se han considerado oportunas: entre etapas escolares, centros y grupos. Todas estas comparativas y las conclusiones que se desarrollan han de ser tomadas como resultados preliminares puesto que el tamaño muestral con el que se trabaja es aun pequeño y al aumentar este puede que se refuercen algunas conclusiones que son claras, o que existan variaciones, así como alteraciones en la significancia de las comparaciones realizadas.

6.1 Categorización de las respuestas

En primer lugar, había que establecer, de acuerdo con la metodología escogida, las categorías apropiadas para cada pregunta, para lo cual se analizaron inicialmente 25 respuestas aleatorias y a partir de ellas se instauraron las categorías con las que se comenzó a clasificar las respuestas de todos los estudiantes, con lo que se fueron sumando algunas categorías nuevas que aparecieron posteriormente.

La categorización que se presenta en este trabajo ha sido realizada por la autora de este trabajo, constituyendo esta parte el grueso del trabajo realizado, y la clasificación se ha llevado a cabo de manera simultánea junto con otra investigadora, una compañera del máster, Laura Rodríguez Rodríguez, que realiza un trabajo de fin de máster análogo al desempeñado aquí. Esta simultaneidad permite comparar la categorización realizada a través del parámetro que mide la validez de las categorías, la *kappa* de Cohen (κ) (**EC. 2**), cuyos valores para cada una de las preguntas se recogen en la **TABLA 5**. Al ser todos ellos superiores a 0,8 se puede considerar que existe un grado aceptable de concordancia y validez en la clasificación.

Cuestión	<i>kappa</i> de Cohen (κ)
1	0,92
2	0,96
3	0,92
4	0,93
5	0,90
6	0,93
7A	0,92
7B	0,99
7C	0,95
7D	1,00
8	0,89

Tabla 5. Valores de kappa de Cohen para cada una de las preguntas realizadas.

A continuación, se describen cuáles son las categorías para cada una de las cuestiones planteadas así como ejemplos significativos y discusiones de algunas de las respuestas.

Pregunta 1

Comente brevemente la siguiente descripción de un fenómeno físico que hace un joven alumno:

“Cuando hincho una rueda de la bicicleta con la bomba de mano, observo que después de un cierto tiempo de estar dando aire aumenta el calor del cilindro de la bomba”.

Ilustración 1. Enunciado de la pregunta 1.

Al comenzar el cuestionario se pide a los alumnos que comenten un fenómeno físico que se describe, **PREGUNTA 1** recogida en la **ILUSTRACIÓN 1**. En ella el primer objetivo que se persigue es detectar si los alumnos son capaces de identificar en qué punto falla la veracidad de la frase, y esto es si son capaces de identificar la diferencia entre calor y temperatura. La miscibilidad de los términos queda ampliamente descrita en la literatura como se ha discutido previamente.

En base a estos objetivos se presenta en la **TABLA 6** las categorías que se han establecido en concordancia con las respuestas que se han obtenido con todos los alumnos que han participado en la investigación. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido categorizados en cada uno de los apartados para su análisis y discusión. La cabecera de cada categoría que se desdobra recoge el total de alumnos que se engloban en ella, posteriormente desglosado y detallado en cada una de las subcategorías.

Tabla 6. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 1.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Reconoce la diferencia entre las variables calor y temperatura	40	31,5
A1	Aplicación del Primer Principio	3	2,4
A1.1	<i>De manera completa</i>	1	0,8
A1.2	<i>De manera incompleta</i>	2	1,6
A2	Aplica la teoría cinético molecular (velocidad, choques...)	10	7,9
A3	Aparece como necesario para la justificación un motivo añadido (fricción...)	10	7,9
A4	Se basa en la relación proporcional con la presión sin tener en cuenta el volumen	11	8,7
A5	Aplica la ley de los gases ideales mencionando las tres variables: Presión, Volumen y Temperatura	6	4,7
B	No reconoce o no especifica la diferencia entre las variables calor y temperatura	64	50,4
B1	Aplicación del Primer Principio	9	7,1
B1.1	<i>De manera completa</i>	3	2,4
B1.2	<i>De manera incompleta</i>	6	4,7
B2	Aplica la teoría cinético molecular (velocidad, choques...)	9	7,1
B3	Aparece como necesario para la justificación un motivo añadido (fricción...)	30	23,6
B4	Se basa en la relación proporcional con la presión	16	12,6
C	Incoherente	12	9,4
D	No sabe/ no contesta	11	8,7

Dado que el razonamiento correcto al fenómeno físico pasa por la aplicación del Primer Principio de la Termodinámica, es una categoría de especial relevancia en la clasificación de las respuestas, y por ello la encontramos en primer lugar como categoría A1 dentro de la categoría A en la que se engloban las respuestas de aquellos que son capaces de diferenciar el calor y la temperatura. En este sentido para la categoría **A1.1** podemos poner como ejemplo la respuesta del *sujeto 78* que, si bien divaga un poco con respecto a lo preguntado, es, insisto, la única que da una respuesta acertada. En ella se aprecia que habla del término temperatura de manera independiente al calor, así como identifica la temperatura como medida de la energía del cuerpo y también aplica el Primer Principio.

Sujeto 78: “Estamos realizando un trabajo mecánico al introducir aire en la cámara de la rueda. Debido a que no existe ningún proceso "ideal" en el que todo el trabajo realizado se convierta en lo que queremos, habrá ciertas pérdidas en forma de calor, de ahí que aumente la temperatura del cilindro de la bomba. Además, la pregunta está mal formulado porque lo que aumenta no es el calor (que no es más que un modo de transferencia de energía) lo que aumenta es la temperatura del sistema (y por ende, la energía interna del mismo, debido a que realizamos ese trabajo, aquí también entra en juego la primera ley de la Termodinámica).”

Algún ejemplo de las demás subcategorías de A que podríamos resaltar sería el del *sujeto 15* para la categoría **A2**, que aplica la teoría cinético-molecular al considerar que el movimiento y velocidad de las partículas es lo que produce un aumento de temperatura, sin embargo, es correcta en el sentido en que diferencia calor y temperatura.

Sujeto 15: “Con el movimiento aumenta la velocidad de las partículas del gas y por tanto la temperatura.”

En cuanto a las respuestas incorrectas de tipo **B1** destacamos el *sujeto 114* o el *sujeto 95*, este último engloba unas cuantas respuestas en las que vinculan el trabajo con el calor, pero sin abordar la variación de la energía interna; de las otras categorías por ejemplo encontramos el *sujeto 13* que encajaría en el tipo de respuestas englobadas en **B2**.

Sujeto 114: “Eso ocurre porque la energía que estás transmitiendo para hinchar la rueda se transforma en calor”

Sujeto 95: “El trabajo mecánico se ha convertido en calor”

Sujeto 13: *“Esto se debe al movimiento de las partículas, a mayor movimiento mayor velocidad y por consiguiente mayor calor.”*

Si bien es cierto alguna de las respuestas ha llevado controversia en la clasificación que explica el valor de $kappa$ obtenido para esta pregunta (0,92). Por ejemplo, el *sujeto 99* hace referencia a más de una categoría, y las observadoras nos situamos entre considerar que aplica la teoría cinético molecular, A2, o simplemente la proporcionalidad con la presión, A5. También ocurre en el caso del *sujeto 117* en el que se podría dudar entre A2 y B4.

Sujeto 99: *“Aumenta la presión por lo tanto también la temperatura por la ecuación de los gases ideales, ya que el volumen de la rueda es constante. Además, por el aumento de presión habrá mayor número de partículas, por lo tanto, más colisiones y aumenta la temperatura.”*

Sujeto 117: *“Al aumentar la presión aumenta la temperatura por lo que aumenta el calor en la bomba. al aumentar la presión, aumenta el número de choques entre partículas, lo que genera más energía aumentando el calor.”*

Pregunta 2

Se tiene un gas dentro de un émbolo aislado térmicamente del exterior que lo rodea. De repente se deja un gran peso sobre la tapa del émbolo que cae rápidamente como se indica en la figura. **Razone si aumenta o disminuye cada una de las siguientes:**

- Presión, P
- Volumen, V
- Temperatura, T°, del gas

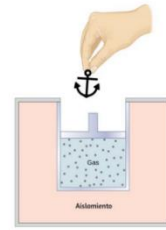


Ilustración 2. Enunciado de la pregunta 2.

La segunda pregunta se plantea para que los alumnos razonen la variación de los parámetros y el porqué de esta variación, recogido el enunciado de la **PREGUNTA 2** en la **ILUSTRACIÓN 2**. A mayores de saber si son capaces de identificar correctamente la variación de los tres parámetros se busca que esté justificada correctamente a través del Primer Principio. Para ello han de ser primero capaces de identificar que al ser un sistema aislado no existe transferencia de energía en forma de calor y desligar que la temperatura por tanto dependa de ello, sino únicamente del trabajo que se produce como consecuencia del peso depositado. Esta pregunta está pensada a propósito para averiguar si los estudiantes se dan cuenta de que la ley de los gases es insuficiente para poder dar una respuesta y es necesario acudir al Primer Principio.

En base a estos objetivos se presenta en la **TABLA 7** las categorías que se han establecido en concordancia con las respuestas que se han obtenido con todos los alumnos que han participado en la investigación. En dicha tabla, como en la anterior, se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido categorizados en cada uno de los apartados.

Tabla 7. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 2.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Aplica el Primer Principio de la Termodinámica	0	0
A1	Identifica correctamente la variación de los tres parámetros	0	0
A2	Identifica correctamente la variación de la temperatura, pero no menciona alguno de los otros	0	0
B	Aduce otras justificaciones para explicar la variación	67	52,8
B1	Identifica correctamente la variación de los tres parámetros	58	45,7
B1.1	<i>Aplica las leyes de los gases y/o establece la proporcionalidad entre los tres parámetros</i>	17	13,4
B1.2	<i>Aplica la teoría cinético molecular</i>	34	26,8
B1.3	<i>Aplica simultáneamente la teoría cinético molecular y la proporcionalidad de las variables</i>	7	5,5
B2	Justifica que la temperatura es constante	5	3,9
B3	Justifica que la temperatura disminuye	4	3,1
C	No justifica la variación propuesta	44	34,6
D	Incoherente	15	11,8
E	No sabe/ no contesta	1	0,8

En la categoría **A** se englobarían las respuestas en las que aplicando el Primer Principio de la Termodinámica se identifica correctamente la variación de la temperatura. Dado que el razonamiento correcto al fenómeno físico pasa por la aplicación del Primer Principio de la Termodinámica, es una categoría de especial relevancia en la clasificación de las respuestas, y por ello la encontramos en primer lugar. Sin embargo, no ha habido ningún estudiante que haya podido ser categorizado en esta categoría.

Aunque hay una gran mayoría de estudiantes que no justifican su respuesta, correspondiente a la categoría **C**, sí se encuentra gran variedad de justificaciones, que se recogen en las subcategorías de **B**.

En concreto dentro de los que saben identificar correctamente la variación de las tres variables se puede discernir entre los que aplican la ley de los gases, **B1.1**, como el *sujeto 126*; aquellos que optan por una explicación basada en la teoría cinético-molecular, **B1.2**, como el *sujeto 97*; y los que aplican ambos razonamientos de manera simultánea, **B1.3**, para ejemplo el *sujeto 29*.

Sujeto 126: “ La presión aumenta debido a que hay la misma cantidad de gas en menos espacio; * El volumen disminuye porque lo comprimes; * La temperatura aumenta porque hay más presión”*

Sujeto 97: “El volumen que ocupa el gas ya no es el mismo porque se comprime el espacio. Aumenta la presión ya que las partículas están más juntas, chocan entre sí y hacen que aparte de la presión, también aumente la temperatura.”

Sujeto 29: “La presión aumenta debido a que se reduce el volumen al ejercer peso sobre el émbolo, esto hará que las partículas del gas choquen mucho más aumentando la presión. El volumen disminuye debido a la reducción de superficie que genera el émbolo. Además, según la ley de Boyle el volumen es inversamente proporcional a la presión. La temperatura también aumenta debido a los choques de partículas.”

Entre los estudiantes que no son capaces de identificar correctamente la variación de temperatura, podemos observar que hay variedad de justificaciones, tal y como aparecen descritas el resto de subcategorías de **B** descritas en la **TABLA 7**. La subcategoría **B2** deja claro, como se ve en el *sujeto 41*, que existe una confusión entre el calor y la temperatura, retomando lo que se resaltaba en la pregunta 1, de tal manera que si está aislado del exterior

no podrá variar su temperatura. Especialmente ha llamado la atención las respuestas que se han englobado en la subcategoría B3 en las que todas responden con el mismo razonamiento, representado por el sujeto 51, siendo este erróneo de base. Siendo las cuatro personas del mismo grupo, hace pensar que, en algún momento de su formación, bien en el centro escolar o bien de manera extraescolar, haya sido transmitida esa idea errónea de la disminución de la temperatura. La conclusión que aquí extraen parece conducir a un cambio de estado pues si las partículas no pueden moverse pasarían de estar en fase gas a condensarse.

Sujeto 41: *“La presión aumenta porque el volumen es menor. El volumen es menor porque hay menos espacio. La temperatura del gas no varía porque está aislado térmicamente.”*

Sujeto 51: *“- Aumenta la presión porque el peso cae sobre la tapa y lo presiona - El volumen disminuye porque la tapa baja y comprime el líquido - La temperatura disminuye porque las partículas se comprimen y no pueden moverse, entonces a menor movimiento menor temperatura.”*

De las respuestas incoherentes, categoría D, ha llamado especialmente la atención la que realiza el sujeto 40, que claramente no ha entendido el enunciado y considera que el objeto se introduce en el interior.

Sujeto 40: *“- La presión disminuye por el número de partículas, es menor; - El volumen aumenta ya que al meter un cuerpo el agua se eleva; - La temperatura del gas es la misma ya que el objeto que se introduce no dice que esté a ninguna T^a por lo tanto al meterlo en el gas no varía la temperatura del gas.”*

En cuanto a la respuesta del sujeto 113 se ha presentado controversia pues, aunque podría considerarse en la categoría B1.2, deja entrever que va en contra del principio de conservación de la energía, y como tal se clasificaría como una respuesta incoherente.

Sujeto 113: *“Al dejar caer el objeto pesado ejerce una fuerza contra la tapa del émbolo y disminuye su volumen. En el interior como el volumen ha disminuido aumenta la presión y la temperatura del gas, ya que las partículas tienen menos espacio para moverse, chocan y se produce más energía por lo que se genera calor”*

Pregunta 3

Se tiene una botella cerrada con agua en una habitación. El agua de la botella está en equilibrio térmico con el ambiente de la habitación. Ahora se echa parte del agua en un plato y se deja durante un tiempo. Se observa que el agua se evapora.

Señale qué pasa con la temperatura del agua que queda en el plato y razone la respuesta:

- a) Disminuye la temperatura
- b) Aumenta la temperatura
- c) La temperatura se mantiene constante

Ilustración 3. Enunciado de la pregunta 3.

La **PREGUNTA 3** del cuestionario revierte cierta complejidad con respecto a las anteriores y supone un punto de inflexión en el que se quiere identificar si son los modelos macroscópicos de la Termodinámica o los modelos microscópicos los que se asientan en el razonamiento de los alumnos. El enunciado de esta se recoge en la **ILUSTRACIÓN 3**. De esta manera se espera que los alumnos sean capaces de identificar que la temperatura del agua que queda en el plato desciende conforme el agua se evapora bien sea por su justificación a través del Primer Principio de la Termodinámica, considerando que realiza un trabajo contra el exterior al evaporarse, o bien sea por la pérdida de las partículas con mayor energía cinética, que son aquellas que se evaporan primero.

En base a lo expuesto y los resultados obtenidos se han podido establecer las categorías que se muestran en la **TABLA 8**. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido clasificados en cada una de las categorías.

Tabla 8. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 3.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Razona que la temperatura disminuye	5	3,9
A1	Justifica la elección a nivel macroscópico	1	0,8
A2	Justifica la elección a nivel microscópico	4	3,1
B	Razona que la temperatura aumenta	31	24,4
B1	Ese aumento de temperatura es la razón de que se evapore el líquido	27	21,3
B2	Se produce una transferencia energética	4	3,1
C	Razona que la temperatura se mantiene constante	23	18,1
C1	Existe un equilibrio térmico	19	15,0
C2	Se produce un cambio de estado	4	3,1
D	Depende de otros factores (Temperatura del plato, Temperatura de la habitación, Superficie, Presión, Volumen...)	19	15,0
E	No justifica la elección	26	20,5
F	Incoherente	19	15,0
G	No sabe/no contesta	4	3,1

En base a lo dicho se han considerado en la categoría correcta, A, todas aquellas respuestas en las que han razonado que la temperatura disminuye, bien sea con una justificación a nivel macroscópico, **A1**, como con una justificación a nivel microscópico, **A2**. De la primera solo se puede hablar de un ejemplo, el *sujeto 53*, que, aunque no enuncia el Primer Principio, hace referencia. De la segunda subcategoría, aunque en su mayoría hacen referencia a la energética de las partículas, tal y como se ve en el *sujeto 2*, encontramos también un ejemplo, el *sujeto 22*, que se centra de manera específica en los enlaces moleculares aunque también confunde el calor con la energía interna.

Sujeto 53: “La temperatura del agua que queda en el plato disminuye, porque se ha consumido calor para evaporar el agua.”

Sujeto 2: “Disminuye la temperatura, ya que se evaporan las partículas con mayor energía.”

Sujeto 22: “Disminuye la temperatura, pues el calor se emplea en la ruptura de los puentes de hidrógeno de la parte de agua que se evapora, por lo que la temperatura del resto disminuye.”

La categoría que engloba más respuestas es la categoría que a priori parece más evidente, que es la B, en la cual se han podido comprobar dos tipos de respuestas. Por un lado, están aquellos, categoría **B1**, que, en base a una desafortunada intuición, deciden que la temperatura aumenta porque se está produciendo una evaporación. Desafortunada la llamo porque no responden a la pregunta, que es la temperatura del agua que queda sin evaporar, sino que se fijan en el agua que ya se ha evaporado. Dentro de esta categoría son múltiples los ejemplos, pero quedaría bien representado por los *sujetos 12 y 52*. Llamativo es encontrar en esta misma categoría respuestas en las que los alumnos confunden la evaporación con la ebullición, *sujeto 29*, que ascienden a una tercera parte de las respuestas.

Sujeto 12: “La temperatura aumenta por lo que se evapora el agua del plato.”

Sujeto 52: “La b. Si el agua se ha llegado a evaporar es porque la T^a ha aumentado.”

Sujeto 29: “Para que el agua se evapore, la temperatura debe aumentar hasta llevar el agua previamente en equilibrio a la ebullición. (Opción b).”

De manera pormenorizada algunos consideran que la temperatura aumenta porque se produce una transferencia energética, categoría **B2**, y como ejemplo se adjunta el *sujeto 85* que responde lo siguiente:

Sujeto 85: *“El calor va de la fuente caliente a la fuente fría, por lo que el agua se calienta y el plato se enfría.”*

No son pocos tampoco aquellos que consideran que la temperatura del agua se mantiene constante, en su mayoría debido a que entienden que el agua está en equilibrio, categoría **C1**, y como tal no experimentará ninguna variación de temperatura, como escriben los *sujetos 3* y *79*. Sin embargo también hay respuestas en las que consideran que si se produce un cambio de estado, categoría **C2**, como sería la evaporación, el agua mantendrá la temperatura constante, representado en la respuesta del *sujeto 100*.

Sujeto 3: *“La temperatura se mantiene constante porque está en equilibrio térmico.”*

Sujeto 79: *“C. La temperatura se mantiene constante, esta, todavía en equilibrio con el ambiente, es decir, su temperatura no cambia.”*

Sujeto 100: *“Si está en equilibrio térmico, al evaporar el agua la temperatura se mantiene constante porque el calor cedido al agua se emplea en un cambio de estado.”*

En la categoría **D** se encuentran muchas respuestas en las que se deja entrever la dependencia del entorno que tiene para estos estudiantes la temperatura del agua remanente. Con ello dejan claro en su mayoría que depende de la temperatura del plato en el que se deposita, como ejemplifica el *sujeto 9*, aunque en muchas ocasiones hacen referencia también a la temperatura de la habitación; con frecuencia aparece la noción de la superficie como factor determinante, *sujeto 106*, o consideran la presión de la habitación, *sujeto 123*.

Los alumnos cuya respuesta encaja en esta categoría no identifican correctamente el sistema físico relevante respecto al que se realiza la pregunta.

Sujeto 9: *“C aunque también dependerá de la temperatura del plato.”*

Sujeto 106: *“La c porque la superficie de agua en contacto con el aire es grande.”*

Sujeto 123: *“La B. Aumenta temperatura ya que al sacarlo de la botella el agua tendría la presión Atmosférica.”*

Algunas respuestas incoherentes, categoría **F**, resultan cuanto menos curiosas como por ejemplo las que se ilustran en el *sujeto 51*, que parece considerar la temperatura como una cualidad del sistema que ha de repartirse entre todas las moléculas que lo conforman, o el *sujeto 104* que utiliza un verbo coloquial que desvirtúa completamente el significado científico de la respuesta.

Sujeto 51: “*La b Aumenta porque al separarlo del agua de la botella se desequilibra la T^a.*”

Sujeto 104: “*La c. El agua del plato se evapora y lo dejas de ver, pero el de la botella, aunque se evaporen luego se queda condensado en los laterales de la botella y lo seguimos viendo.*”

Pregunta 4

Se tiene un gas ideal en un émbolo. Se comprime el émbolo de manera que se mantiene la temperatura del gas constante. **Indique y razone cuál o cuáles respuestas son correctas:**

- a) No hay transferencia de calor del exterior al gas.
- b) No hay transferencia de calor del gas al exterior.
- c) Hay transferencia de calor del exterior al gas.
- d) Hay transferencia de calor del gas al exterior.
- e) Puede haber transferencia de calor entre el gas y el exterior en uno u otro sentido dependiendo de los valores de P y V.

Ilustración 4. Enunciado de la pregunta 4.

Llegada esta parte del cuestionario los alumnos ya deberían haber comenzado un proceso de introspección en la Termodinámica, de modo que la **PREGUNTA 4**, cuyo enunciado se puede ver en la **ILUSTRACIÓN 4**, engloba varios de los objetivos de aprendizaje inicialmente señalados, pues si bien se desea que apliquen de manera correcta el Primer Principio de la Termodinámica, también se espera que los alumnos sepan distinguir entre calor y temperatura e identificar la relación entre temperatura y energía interna.

En base a lo expuesto y los resultados obtenidos se han podido establecer las categorías que se muestran en la **TABLA 9**. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido categorizados en las distintas subcategorías.

Tabla 9. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 4.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Responde correctamente porque aplica el Primer Principio y sabe distinguir el calor y la temperatura	15	11,8
A1	De manera correcta y completa	4	3,1
A2	De manera incompleta	11	8,7
B	Aplica el Primer Principio pero confunde términos	17	13,4
B1	No identifica la temperatura con la energía interna	1	0,8
B2	Confunde calor con trabajo	3	2,4
B3	No distingue calor y temperatura	13	10,2
C	Aduce otras justificaciones a su respuesta	17	13,4
C1	Relaciona la presión con el volumen y como consecuencia la temperatura constante	5	3,9
C2	Relación proporcional entre presión y temperatura (sin tener en cuenta el volumen)	3	2,4
C3	Depende de condiciones de contorno	9	7,1
D	No justifica su respuesta	54	42,5
D1	Selecciona correctamente la opción	14	11,0
D2	Selecciona incorrectamente la opción	40	31,5
E	Incoherente	12	9,5
F	No sabe/ no contesta	12	9,5

En cada una de las categorías que se muestran se evalúa unas características del aprendizaje, pues si bien la aplicación del Primer Principio entraría en juego en las categorías A y B, existe la diferencia fundamental de conocer o no los términos que se emplean.

Se puede diferenciar dentro de la categoría A alumnos que dan una respuesta sumamente acertada, **A1**, como es el *sujeto 86* que entiende la diferencia que hay entre calor y temperatura y razona que para que esta sea constante, en una situación de compresión, se tiene que producir un calor y además identifica correctamente que este ha de ocurrir desde el gas hacia el exterior. En las respuestas categorizadas como **A2**, como el *sujeto 66*, se aproximan a esta explicación, pero no terminan de especificar que esto se produce porque es una situación de compresión.

Sujeto 86: “Hay transferencia de calor del gas al exterior, si no la hubiera, al comprimir el émbolo aumentaría la temperatura, y si dice que se mantiene constante es porque se pierde el calor hacia el exterior.”

Sujeto 66: “La d es la respuesta correcta ya que el gas le cede calor al entorno para que así se equilibre la temperatura y sea constante.”

Más obvios quizá puedan parecer los ejemplos de las subcategorías B, tales como ocurre con el *sujeto 115* que encaja en **B1** ya que no reconoce que la temperatura sea una medida de la energía interna, o el *sujeto 37* que confunde los términos calor y temperatura y como tal se encuadra en la categoría **B3**.

Sujeto 115: “La B porque se mantiene constante la temperatura pero no la energía.”

Sujeto 37: “La a y la b. Si no cambio la temperatura, no puede haber transferencia.”

Aunque quizá en esta pregunta no sea tan manida la justificación a través de la presión, categorías **C1** y **C2**, encontramos ejemplos para escenificar estas categorías, respectivamente el *sujeto 92* y el *sujeto 8*. De la categoría **C3** también se pueden destacar algunas respuestas, aunque si bien es cierto que son variadas y aquí simplemente se recogen un par de ellas en las que se muestra la creencia de que depende de condiciones tales como la presión que se realice, obviando el fenómeno de compresión, como hace el *sujeto 2*, o aquellos que consideran el calor como una propiedad y no como una transferencia energética, *sujeto 57*.

Sujeto 92: “Creo que la respuesta correcta es la e), según la fórmula de los gases ideales $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$, al bajar el émbolo aumenta la P y disminuye V , pero si este cambio no es proporcional puede afectar a las T para que la ecuación se equilibre.”

Sujeto 8: “b) es correcto, ya que al comprimir el embolo, se aumenta la presión y a su vez la temperatura”

Sujeto 2: “E) Dependiendo la temperatura y la presión del exterior es posible que el trabajo lo realice el émbolo sobre el exterior o el exterior sobre el émbolo.”

Sujeto 57: “La c. Puede haber una transferencia dependiendo de la cantidad de calor a la que esté expuesto.”

Algunas respuestas incoherentes se destacan aquí para escenificar algunas creencias que parecen aparecer en los estudiantes, especialmente en aquellos en etapa de bachillerato. Se puede ver así como la consideración de que es un gas ideal hace suponer que no va a intercambiar calor, *sujeto 10*, o ni siquiera ningún tipo de energía, *sujeto 121*.

Sujeto 10: “No hay ni transferencia de calor al exterior desde el gas no al gas desde el exterior porque es un gas ideal y no provoca calor al comprimirse.”

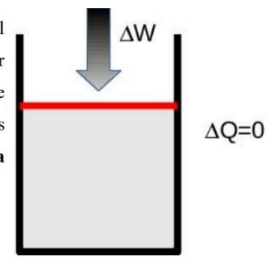
Sujeto 121: “La A y la B. La temperatura del gas se mantiene y no hay ningún cambio por el medio, ya que comprimir el émbolo con esas características no se genera ningún trabajo, ninguna energía y por tanto ningún calor o cambio de temperatura.”

En cuanto a alguna pregunta reseñable que haya presentado dificultad para la categorización se puede resaltar el *sujeto 28*, que podría caer en la incoherencia, pero también se podría interpretar como que confunde calor con temperatura, y por tanto encajar en la categoría B3.

Sujeto 28: “A y B son correctas porque dice que comprime el émbolo de manera q no cambie la temperatura. El resto son incorrectas.”

Pregunta 5

Se tiene un gas ideal dentro de un pistón que aísla el gas del exterior de manera que no puede haber transferencia de calor entre ambos. Se empuja el pistón realizando un trabajo como se indica en la figura. En esas condiciones, señale, de las opciones que se indican a continuación, si alguna es cierta y razone la respuesta:



- a) Aumenta la temperatura del gas
- b) Aumenta la energía interna del gas

Ilustración 5. Enunciado de la pregunta 5.

Uno de los objetivos fundamentales que se desea desvelar mediante este cuestionario es la asimilación que muestran los alumnos a la hora de identificar que la temperatura es una medida de la energía de las partículas. Siguiendo con este objetivo se ha planteado la **PREGUNTA 5**, enunciada en la **ILUSTRACIÓN 5**, en la que además se pretende identificar si se produce una correcta aplicación del Primer Principio y si saben distinguir la temperatura y el calor.

En base a lo expuesto y los resultados obtenidos se han podido establecer las categorías que se muestran en la **TABLA 10**. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido categorizados en cada uno de los apartados para su análisis y discusión.

Tabla 10. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 5.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Reconoce la relación entre la temperatura y la energía interna	25	19,7
A1	Sabe que ambas aumentan y aplica el Primer Principio de la Termodinámica	6	4,7
A1.1	<i>Explica completa y correctamente</i>	4	3,1
A1.2	<i>Explica incompleta</i>	2	1,6
A2	Sabe que ambas aumentan y aplica la proporcionalidad con la presión	9	7,1
A3	Sabe que ambas aumentan y aplica la teoría cinético-molecular	9	7,1
A4	Ninguna de las variables aumenta	1	0,8
B	No reconoce la relación entre la temperatura y la energía interna	59	46,5
B1	El aumento de la variable es proporcional a la presión	17	13,4
B1.1	<i>La temperatura aumenta</i>	9	7,1
B1.2	<i>La energía interna aumenta</i>	8	6,3
B2	Aplica la teoría cinético-molecular (choques, velocidad...)	19	15,0
B2.1	<i>La temperatura aumenta</i>	10	7,9
B2.2	<i>La energía interna aumenta</i>	9	7,1
B3	Aplica el Primer Principio de la Termodinámica	23	18,1
C	No justifica la elección	31	24,4
D	Incoherente	6	4,17
E	No sabe/ no contesta	6	4,17

Teniendo en cuenta el objetivo principal a discernir en esta pregunta se ha detallado la categoría A en función de él, y se han determinado las diferentes posibles combinaciones encontradas en la respuesta. De esta manera las respuestas más correctas se encuentran en la categoría **A1.1**, como es la que emite el *sujeto 2*, y algunas incompletas, **A1.2**, sería por ejemplo la del *sujeto 29*, que no termina de concretar su respuesta.

Sujeto 2: “A) Aumentará la temperatura ya que el trabajo que se realiza sobre el sistema se invierte en un aumento de la temperatura B) Al realizar un trabajo sobre un sistema, siendo el intercambio de calor nulo, debe aumentar la energía interna del gas.”

Sujeto 29: “Ambas son correctas, porque se ejerce un trabajo externo.”

Abundan más sin embargo otras explicaciones al aumento de las variables, como la variación de presión, categoría **A2** y de la cual es ejemplo el *sujeto 63*, o bien que justifiquen a través de la teoría cinético molecular, como hace el *sujeto 64* correspondiente a la categoría **A3**.

Sujeto 63: “Las dos son ciertas, el gas se somete a más presión lo que causa un aumento de T^a y por tanto si hay un aumento de T^a hay un aumento en la energía interna.”

Sujeto 64: “a) Verdadero. Las partículas que constituyen el gas se mueven más deprisa haciendo que aumente las T^a . b) La energía interna del gas aumenta ya que las partículas de este se chocan entre sí y se mueven más rápido generando mayor energía interna.”

De entre los que no identifican correctamente la relación existente entre la temperatura y la energía interna se han distinguido varias subcategorías en función de la explicación que dan. Así si solo consideran la variación de presión se encuentran en la B1, aunque luego se pueda discernir entre los que justifican un aumento de temperatura, **B1.1** como el *sujeto 8*, o de energía interna, **B1.2** como el *sujeto 4*; por otro lado, en B2 se agrupan los que aplican la teoría cinético molecular, del mismo modo pudiéndose distinguir los que aluden un aumento de temperatura, **B2.1** *Sujeto 43*, o de energía interna, **B2.2** *sujeto 18*. Todos estos consideran constante a la variable que no aumenta.

Sujeto 8: “a) al ejercer presión sobre el gas, la temperatura aumenta con la presión.”

Sujeto 4: “Aumenta la energía interna del gas debido al aumento de la presión.”

Sujeto 43: “La a porque aumenta ya que el n° de partículas es el mismo en un espacio menor, por lo que aumenta la E cinética y así la Tª.”

Sujeto 18: “b) La energía interna aumenta porque se produce más movimiento.”

Sorprende encontrar en este apartado tantos alumnos que apliquen el primer principio, B3, y la mayoría además justifican que la temperatura permanece constante por ser aislado, es decir, confunden temperatura con calor. Algunos ejemplos serían los sujetos 22,23 o 68.

Sujeto 22: “ $W=-p \cdot \text{Variación volumen}$. Va a aumentar la energía interna del gas. Al estar aislado térmicamente, no va a haber variación de la temperatura.”

Sujeto 23: “Aumenta la energía interna del gas, ya que la temperatura es constante y al haber un trabajo la energía aumenta.”

Sujeto 68: “La a es falsa porque no hay transferencia de Q. La b es verdadera porque $AU=Q+W$.”

Se encuentran también algunas respuestas en esta pregunta que se muestran ambiguas en cuanto a la categorización, como es el caso del sujeto 5 que podría ser de manera simultánea clasificado como B1.1 y B2.1 puesto que habla tanto del movimiento de partículas como de la presión, o por ejemplo los sujetos 53 y 121 que mezclan al mismo tiempo el Primer Principio y la proporcionalidad de la presión y por ello cabría categorizarles como A1.2 o A2.

Sujeto 5: “a) la temperatura aumenta ya que al disminuir el volumen la presión aumenta y esto provoca un mayor movimiento de las partículas del gas.”

Sujeto 53: “El calor y el trabajo están relacionados con la energía interna $U=W-q$ (conservación de la energía, 1ª ley de la Termodinámica). Como la variación de calor es 0, al aumentar el trabajo la energía interna tiene que aumentar. La temperatura aumenta si la presión aumenta pero el volumen no disminuye (ley de los gases ideales, $PV= nRT$).”

Sujeto 121: “Aumenta la energía porque al comprimir el gas el espacio es menor y la presión ejercida del gas es mayor, lo que provoca necesariamente un trabajo que genera energía que se transforma en calor, es decir aumenta su temperatura.”

Pregunta 6

Se tiene un gas ideal dentro de un pistón que permite el intercambio de calor entre el gas y el exterior. **Indique y razone:**

- a) Si puede ocurrir que la temperatura del gas se mantenga constante al comprimirlo
- b) Si la energía interna del gas puede mantenerse constante.

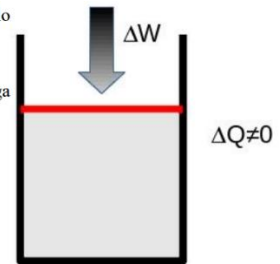


Ilustración 6. Enunciado de la pregunta 6.

La **PREGUNTA 6** es bastante similar a la cuestión anterior, tal y como se ve en el enunciado recogido en la **ILUSTRACIÓN 6**, y son los mismos objetivos los que se plantean, aunque las categorías se expongan de manera ligeramente distinta tal y como se muestra en la **TABLA 11**. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes (N=127) que han sido clasificados en cada uno de los apartados para su análisis y discusión.

Tabla 11. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 6.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Ambas son posibles, reconoce la relación entre la temperatura y la energía interna	12	9,4
A1	Aplica el Primer Principio, siendo temperatura y energía interna constantes.	12	9,4
A1.1	Explica completa y correctamente	2	1,6
A1.2	De manera incorrecta o confunde los términos empleados	10	7,9
A2	Aplica la ley de los gases para justificar	0	0
B	Solo una es posible, no reconoce la relación entre la temperatura y la energía interna	51	40,2
B1	Porque se produce un intercambio de:	41	32,3
B1.1	Energía	35	27,6
B1.2	Temperatura	6	4,7
B2	Depende de la presión	6	4,7
B3	Depende de otras condiciones	4	3,1
C	Ninguna de las opciones es posible	11	8,7
C1	Porque se produce un intercambio energético	8	6,3
C2	Justifica aplicando la teoría cinético molecular	2	1,6
C3	Depende de las condiciones	1	0,8
D	No justifica la elección	38	29,9
E	Incoherente	6	4,7
F	No sabe/ no contesta	9	7,1

Dentro de las respuestas que se podrían considerar correctas porque reconocen la relación entre la temperatura y la energía solo se encuentran respuestas en la categoría A1, es decir, aquella en la que se utiliza el Primer Principio para explicar correctamente la respuesta. En

ella se pueden distinguir algunas mejor explicadas, **A1.1** como el *sujeto 2*, y algunas incompletas, como el *sujeto 35 o 100* de la categoría **A1.2**.

Sujeto 2: *“Es posible que el trabajo que se realiza sobre el sistema salga de este en forma de calor, por lo que la temperatura y la energía interna se mantendrían constantes. Por lo tanto, A) y B) pueden ser ciertas.”*

Sujeto 35: *“a) Si el trabajo se mantiene constante la temperatura también lo hará b) Si el calor y el trabajo son constantes la energía interna también.”*

Sujeto 100: *“Puede mantenerse la temperatura constante si se libera energía al entorno en forma de calor. La energía interna puede mantenerse constante también liberando calor.”*

Aquellos que no vinculan las variables lo hacen amparándose en diferentes justificaciones, desde aquellos que consideran que se produce un intercambio energético, **B1.1** como el *sujeto 25*, a las respuestas en las que justifican que el intercambio es de temperatura y como consecuencia no distinguen la temperatura y el calor, categoría **B1.2**, *sujeto 9*, hasta aquellos que consideran que depende de la presión y vinculan esta únicamente con la temperatura, como es el caso del *sujeto 47* de la categoría **B2**.

Sujeto 25: *“Como la variación de Q no es 0, si puede mantenerse la temperatura constante, pero la energía interna no.”*

Sujeto 9: *“A es correcta, ya que se permite el paso de la temperatura. B es incorrecta ya que la energía aumentará obligatoriamente”*

Sujeto 47: *“La b. La a nunca puede suceder ya que al aumentar la presión aumenta la T^a . $p=nRT/V$.”*

También se encuentran respuestas a partir de las cuales se extrae que no es posible que ninguna de las variables se mantenga constante, aunque algunos lo vinculan con ese intercambio energético que se produce, como el *sujeto 5* de la categoría **C1**, y otros con la teoría cinético molecular, *sujeto 108* de la categoría **C2**.

Sujeto 5: *“a) No ya que el sistema intercambia temperatura con el exterior b) No ya que el calor influye en este parámetro.”*

Sujeto 108: *“a) no, ya que al comprimirlo hay más choques entre partículas y desprende energía en forma de calor y por lo tanto aumenta la temperatura b) no, ya que los choques entre partículas desprenden más energía.”*

Pregunta 7

¿Son las siguientes afirmaciones verdaderas o falsas? Indica brevemente una justificación

- a) Un sistema cerrado puede intercambiar calor
- b) El calor y el trabajo son formas de energía
- c) Una pared adiabática deja pasar el calor
- d) Si nos encontramos con un proceso isocórico, el calor es función de estado

Ilustración 7. Enunciado de la pregunta 7.

La penúltima pregunta del cuestionario, **PREGUNTA 7**, engloba cuatro afirmaciones sobre las que los estudiantes deben emitir una justificación, todas ellas recogidas en la **ILUSTRACIÓN 7**. El objetivo primordial es la evaluación de la adquisición de conceptos relativos a Termodinámica, aunque si bien en la A,C y D se refleja más el contenido de tipos de paredes y sistemas, la B hace referencia a la energía de manera más genérica. Se ha dividido la categorización en base a lo expuesto y por ello aparecen cuatro tablas diferentes [Afirmación 7A: **TABLA 12**; Afirmación 7B: **TABLA 13**;Afirmación 7C: **TABLA 14**;Afirmación 7D: **TABLA 15**] con los porcentaje de estudiantes que han sido clasificados en cada una de las categorías.

Tabla 12. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la pregunta 7A.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Afirma que es "verdadera"	49	38,6
A1	Explica su respuesta	32	25,2
A1.1	Reconoce que un sistema cerrado intercambia energía, pero no materia	19	15,0
A1.2	Justifica los sistemas aislados	4	3,1
A1.3	No habla sobre la materia	7	5,5
A1.4	Confunde terminología	2	1,6
A2	No justifica su respuesta	17	13,4
B	Afirma que es "falsa"	64	50,4
B1	Explica su respuesta	37	29,1
B1.1	No conoce las características de un sistema cerrado	28	22,0
B1.2	Confunde terminología	9	7,1
B2	No justifica su respuesta	27	21,3
C	Incoherente	6	4,7
D	No sabe/ no contesta	8	6,3

Para la primera afirmación se muestran a continuación ejemplos de algunas categorías. Una respuesta que pudiera considerarse completa y correcta, es decir encajar en la categoría **A1.1**, sería la que aporta el *sujeto 45*. Sin embargo, hay muchos que, en lugar de justificar un sistema cerrado, que es lo que se pregunta, optan por hablar sobre sistemas aislados, **A1.2**, como el *sujeto 13*, u olvidan mencionar la materia como le ocurre al *sujeto 23*, categoría **A1.3**.

También están aquellos que confunden terminología y no identifican el calor como un tipo de energía, que encajarían en la categoría **A1.4** como el *sujeto 93*.

Sujeto 45: “a) Verdadera, no podrá intercambiar materia pero sí energía en forma de calor.”

Sujeto 13: “A) si que puede el único que no puede es el aislado.”

Sujeto 23: “a) Verdadero, porque los sistemas cerrados pueden intercambiar energía.”

Sujeto 93: “Un sistema cerrado puede intercambiar calor, pero no energía (V).”

De entre las justificaciones que se pueden encontrar para una respuesta incorrecta en general es que desconocen las características de un sistema cerrado, categoría **B1.1** con ejemplos tales como el *sujeto 4* y el *sujeto 31*, o aquellos que confunden terminología, **B1.2**, como el *sujeto 12* que confunde calor con temperatura o el *sujeto 52* que no identifica el calor como energía, como ocurría con el *sujeto 93*. Como alguna respuesta incoherente, **C**, se puede destacar al *sujeto 107* que parece pensar que la entrada o salida de calor es diferente para cada sistema.

Sujeto 4: “A falso, si es cerrado no intercambia nada con el exterior.”

Sujeto 31: “a) Un sistema cerrado puede intercambiar materia, pero no energía, por lo que esta afirmación es falsa”

Sujeto 14: “A) falso, un sistema cerrado mantiene la temperatura y no la intercambia.”

Sujeto 52: “a) Falsa, ya que al ser cuando no se puede intercambiar calor, pero sí energía”

Sujeto 107: “a) falsa, puede dejar salir pero no entrar energía.”

Tabla 13. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la pregunta 7B.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Afirma que es "falsa"	18	14,2
A1	Explica su respuesta	17	3,4
A1.1	Identifica que son formas de transferencia	7	5,5
A1.2	Una de ellas no la considera	8	6,3
A1.3	Confunde terminología	2	1,6
A2	No justifica su respuesta	1	0,8
B	Afirma que es "verdadera"	100	78,7
B1	Explica su respuesta	21	16,5
B1.1	A través de las unidades de las magnitudes	9	7,1
B1.2	Son fuentes de energía y/o cambio	7	5,5
B1.3	Alude a la energía interna	3	2,4
B1.4	Confunde terminología	2	1,6
B2	No justifica su respuesta	79	62,2
C	Incoherente	2	1,6
D	No sabe/ no contesta	7	5,5

Esta segunda afirmación se encuentra a nivel básico de conocimiento de la Termodinámica, tal y como se señalaba en la **TABLA 1** siendo contenido de 2º E.S.O. La categoría **A1.1** recoge algunos ejemplos tales como el *sujeto 49*, que son respuestas en las que resaltan que son transferencia energética y no energía en sí, aunque también hay algunos que deciden justificar solo una de las dos variables, calor o trabajo, que son aquellas en la categoría **A1.2** como el *sujeto 41*. Entre los que confunden terminología, **A1.3**, ha llamado la atención el *sujeto 60*, que habla de las funciones de estado que nada tienen que ver con si las variables son una energía o no.

Sujeto 49: “b) Falso, son formas de intercambio de energía.”

Sujeto 41: “b) Falso. El trabajo es transferencia de energía.”

Sujeto 60: “b) Falso, son funciones de estado.”

De entre las respuestas incorrectas son curiosas las justificaciones diversas que se dan, entre los que encontramos que argumentan en base a las unidades de las magnitudes, **B1.1**, como el *sujeto 18*; aquellos que las consideran fuentes de energía, **B1.2** como el *sujeto 121*; las respuestas que justifican que son energía porque aparecen como términos de los que depende la energía interna, **B1.3**, tal y como aclara el *sujeto 100*; o los que hablan de terminología inapropiada, **B1.4**, como es el caso del *sujeto 90* que hace referencia a la confusión entre calor y temperatura y la de trabajo y fuerza.

Sujeto 18: “b) Verdadero, se pueden medir en Julios.”

Sujeto 121: “b) Verdadero, Ambas se complementan y son formas de generar energía.”

Sujeto 100: “El calor y el trabajo conforman la energía interna de un sistema por lo tanto son energía.”

Sujeto 90: “b) Verdadera: una se refiere a la temperatura y otra al esfuerzo.”

Tabla 14. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la pregunta 7C.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Afirma que es "falsa"	59	46,5
A1	Explica su respuesta	37	29,1
A1.1	Sabe y aplica lo que es adiabático	27	21,3
A1.2	No identifica bien el término adiabático	3	2,4
A1.3	Confunde calor con temperatura	3	2,4
A1.4	Considera que el calor es nulo	4	3,1
A2	No justifica su respuesta	22	17,3
B	Afirma que es "verdadera"	26	20,5
B1	Explica su respuesta	2	1,6
B2	No justifica su respuesta	24	19,8
C	Incoherente	1	0,8
D	No sabe/ no contesta	41	32,3

Respuestas en su conjunto correctas son aquellas categorizadas como **A1.1**, ejemplificadas en el *sujeto 3*, mientras que algunos estudiantes no identifican de manera adecuada el término adiabático, como el *sujeto 31* en **A1.2**, otros confunden calor con temperatura, **A1.3** como el *sujeto 33*, y los últimos se podrían categorizar en **A1.4** como aquellos que consideran que en este tipo de sistemas el calor es nulo, como el *sujeto 45*.

Sujeto 3: “c) Falso. Si es adiabática no permite intercambio de calor.”

Sujeto 31: “c) Una pared adiabática, es aquella que no intercambia ni materia ni energía, por lo que la afirmación es falsa.”

Sujeto 33: “c) Falso, temperatura constante.”

Sujeto 45: “c) Falso, en un sistema adiabático el calor es nulo.”

Únicamente existen dos personas que justifican su respuesta correcta, **B1**, los *sujetos 76* y *119*, y que emiten justificaciones dispares entre sí que no permiten una categorización más específica.

Sujeto 76: “C) verdadero, lo que no deja pasar es energía en forma de trabajo.”

Sujeto 119: “C) verdadero, presión constante.”

Tabla 15. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la pregunta 7D.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Afirma que es "verdadera"	45	35,4
A1	Explica su respuesta	9	7,1
A1.1	Sabe qué es isocórico y aplica el Primer Principio	2	1,6
A1.2	Respuesta incompleta	4	3,1
A1.3	Confunde terminología	3	2,4
A2	No justifica su respuesta	36	28,3
B	Afirma que es "falsa"	28	22,0
B1	Explica su respuesta, pero confunde terminología	9	7,1
B2	No justifica su respuesta	19	15,0
C	Incoherente	1	0,8
D	No sabe/ no contesta	53	41,7

En este último apartado de la pregunta 7 las categorías son más reducidas y concisas. Así es fácil distinguir entre aquellos que conocen el término isocórico y aplican el Primer Principio, como el *sujeto 70* o el *95*, categoría **A1.1**, aquellos otros que ofrecen una respuesta incompleta como sería la del *sujeto 79*, categoría **A1.2**, o los que confunden terminología, como el *sujeto 33* de la categoría **A1.3** que confunde isocórico con isobárico.

Sujeto 70: "d) Verdadero. Isocórico $AV=0$. Ya que la energía interna es una función de estado y como el trabajo es 0, el calor será igual a la energía interna."

Sujeto 95: "d) Verdadero, que sea isocórico significa que el volumen es constante y según el primer principio de la Termodinámica a $V=CTE$ sería, $\Delta U=Q$, por lo tanto es función de estado."

Sujeto 79: "D. Verdad, ya que el trabajo es cero porque el volumen es constante."

Sujeto 33: "d) Verdadero. Isocórico $p=cte$; $AU= Q+W$; $W=0$."

En la categoría **B1** entran algunas respuestas variadas, pero todas ellas confunden terminología, como le ocurre al *sujeto 60*. En cuanto a respuestas incoherentes, **C**, se puede resaltar la del *sujeto 102*.

Sujeto 60: "d) Falso, el calor es función de estado cuando es un proceso isobárico."

Sujeto 102: "d) verdadero, la presión no varía así que cambia de estado debido al cambio de temperatura."

Pregunta 8

Se tiene una botella de plástico, cerrada con tapón de rosca, en la que queda algo de aire con vapor de agua en su interior. En ella se ha hecho un orificio por la base de la botella, y por él se conecta una bomba de mano que inyecta aire para aumentar la presión en el interior de la botella.

Cuando la presión en el interior ya es alta, se abre el tapón y se observa que el aire sale muy rápidamente del interior y se observa que alrededor de la boca de la botella se produce condensación de agua.

Ilustración 8. Enunciado de la pregunta 8. **Trate de explicar por qué se produce esa condensación al abrir el tapón**

La última de las preguntas del cuestionario, la **PREGUNTA 8**, cuyo enunciado se puede leer en la **ILUSTRACIÓN 8**, busca determinar nuevamente el uso y aplicación que los alumnos realizan del Primer Principio de la Termodinámica, aunque de manera secundaria también persigue la distinción entre la temperatura y el calor, así como la adquisición de algunos conocimientos conceptuales. En base a ello y las respuestas de los estudiantes obtenidas, se han podido establecer las categorías que se muestran en la **TABLA 16**. En dicha tabla se incluye también el porcentaje de estudiantes que han sido clasificados en cada categoría.

Tabla 16. Categorías propuestas para la clasificación de las respuestas obtenidas para la PREGUNTA 8.

Categoría	Descripción de la categoría	n	%
A	Responde aplicando el Primer Principio de la Termodinámica	7	5,5
A1	Aplica de manera correcta y completa	0	0
A2	Aplica de manera incompleta	7	5,5
B	Únicamente considera que se produce variación de temperatura	19	15,0
C	Considera que se produce variación de presión	58	45,7
C1	Única consideración para explicar la condensación	14	11,0
C2	Aplica la ley de los gases y/o proporcionalidad entre la presión y la temperatura	34	26,8
C3	Provoca un cambio de estado de agregación	6	4,7
C4	Provoca un movimiento de las partículas	4	3,1
D	Tiene en cuenta otros factores	9	7,1
E	Incoherente	12	9,4
F	No sabe/ no contesta	22	17,3

Las respuestas correctas se engloban todas ellas en A, pero solo se han encontrado quienes lo hacen de manera incompleta, **A2**, se pueden poner como ejemplos los *sujetos 2 y 117*.

Sujeto 2: “En una expansión adiabática como es el caso, el gas pierde temperatura al realizar el trabajo, produciéndose la condensación.”

Sujeto 117: “Al aumentar rápidamente el volumen, la temperatura baja también rápidamente, lo que produce que parte Del vapor de agua que está en la botella al salir se condense en la boca de la botella.”

En cuanto a respuestas correctas, donde encajan la mayoría de las respuestas, encontramos los que solo consideran que se produce un cambio de temperatura, categoría **B** como el *sujeto 13*, o las que consideran que se produce una variación de presión, categoría **C**. Esta se presenta como única explicación en algunos casos tal y como expone el *sujeto 48*, de la categoría **C1**; como motivo para que varíe la temperatura y por ello se condense, categoría **C2** como el *sujeto 32*; que se produce un cambio de estado de las partículas o que estas se muevan, respectivamente los *sujetos 5*, **C3**, y *31*, **C4**.

Sujeto 13: *“Por el cambio repentino de temperatura que sufre ese vapor de agua. Ya que se enfría y se condensa.”*

Sujeto 48: *“Porque se mezcla el agua que estaba a una presión con el aire que está fuera que tiene una presión distinta. El cambio de presión produce la condensación.”*

Sujeto 32: *“Se produce esa condensación porque al aumentar la p de la botella estábamos aumentando su temperatura y al entrar en contacto con el exterior el aire se ha enfriado y ha disminuido su T por eso se condensa.”*

Sujeto 5: *“Porque el aumento de la presión ha hecho que el agua cambie de estado.”*

Sujeto 31: *“Al añadir aire dentro de la botella, se aumenta el movimiento de las moléculas que contiene, por lo que el agua se evapora, ya que se aumenta el movimiento de sus partículas. Al abrir la botella, la presión disminuye, por lo que disminuye el movimiento de las partículas del agua, y por tanto se condensa.”*

6.2 Análisis comparativo

A continuación, se recogen en gráficos las respuestas agrupadas en función de las comparativas que buscan: comparativa general, comparativa por etapas, comparativa entre centros y comparativa entre grupos. Visualizar gráficamente las frecuencias de respuesta en cada una de las categorías establecidas permite extraer algunos resultados que se retomarán en las conclusiones del trabajo.

Comparativa general

Pregunta 1

Para la primera pregunta, ilustrada en la **FIGURA 1**, buscando enlazar con el objetivo primordial para esta pregunta se puede destacar a nivel general como predomina, con un 50% de las respuestas englobados en la categoría B, la confusión entre los términos calor y temperatura, siendo un dato interesante pero no sorprendente con respecto a la revisión bibliográfica antes mencionada. Si queremos resaltar la importancia de la primera ley de la Termodinámica como explicación al fenómeno encontramos que tan solo un 9% de las respuestas (categorías A1 y B1) la emplean frente al 73% (Resto de subcategorías de A y B) que aducen otro tipo de explicaciones que van desde la presión, a la fricción pasando por la teoría cinético molecular. Con esto se concluye que el Primer Principio de la Termodinámica no es la primera explicación que viene a la cabeza de los estudiantes para justificar este tipo de fenómenos, apareciendo como mayoritaria, un cuarto de las respuestas totales, la explicación a través de la fricción, esto es la categoría B3.

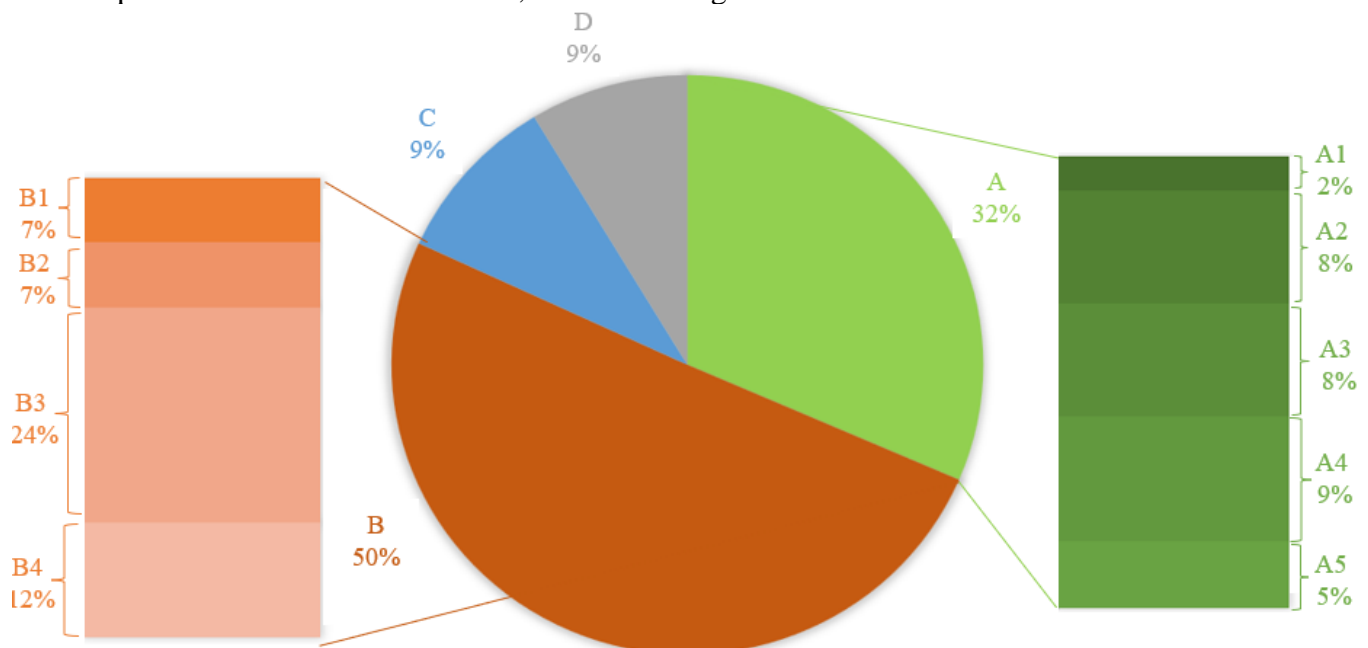


Figura 1. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C y D para la Pregunta 1. A la izquierda en naranja se muestra la distribución de las subcategorías B mientras que a la derecha en verde la distribución de las subcategorías de A.

Pregunta 2

Las frecuencias para esta segunda pregunta quedan ilustradas en la **FIGURA 2**. En cuanto a los resultados acerca del objetivo establecido para esta pregunta se puede afirmar que nadie, ni un solo sujeto de los sometidos a este cuestionario, ha respondido a la pregunta aplicando el Primer Principio de la Termodinámica, y por ello en la categoría A tiene un 0% de respuestas. Con esto se puede concluir al igual que con la pregunta anterior que no es la principal explicación que se usa para explicar el fenómeno descrito. A cambio cobra más fuerza otras explicaciones mediante las cuales, según ellos, se obtendría correctamente la deducción de la variación de los tres parámetros, que son todas aquellas de la categoría B1. En especial, como se desglosa en la **TABLA 7**, la más utilizada es la teoría cinético molecular (B1.2)

Sin embargo, en esta pregunta sí muestran en términos generales diferenciación entre temperatura y calor, siendo los únicos que parecen mostrar confusión aquellos englobados en la categoría B2, que justifican la no variación de la temperatura por ser un sistema aislado.

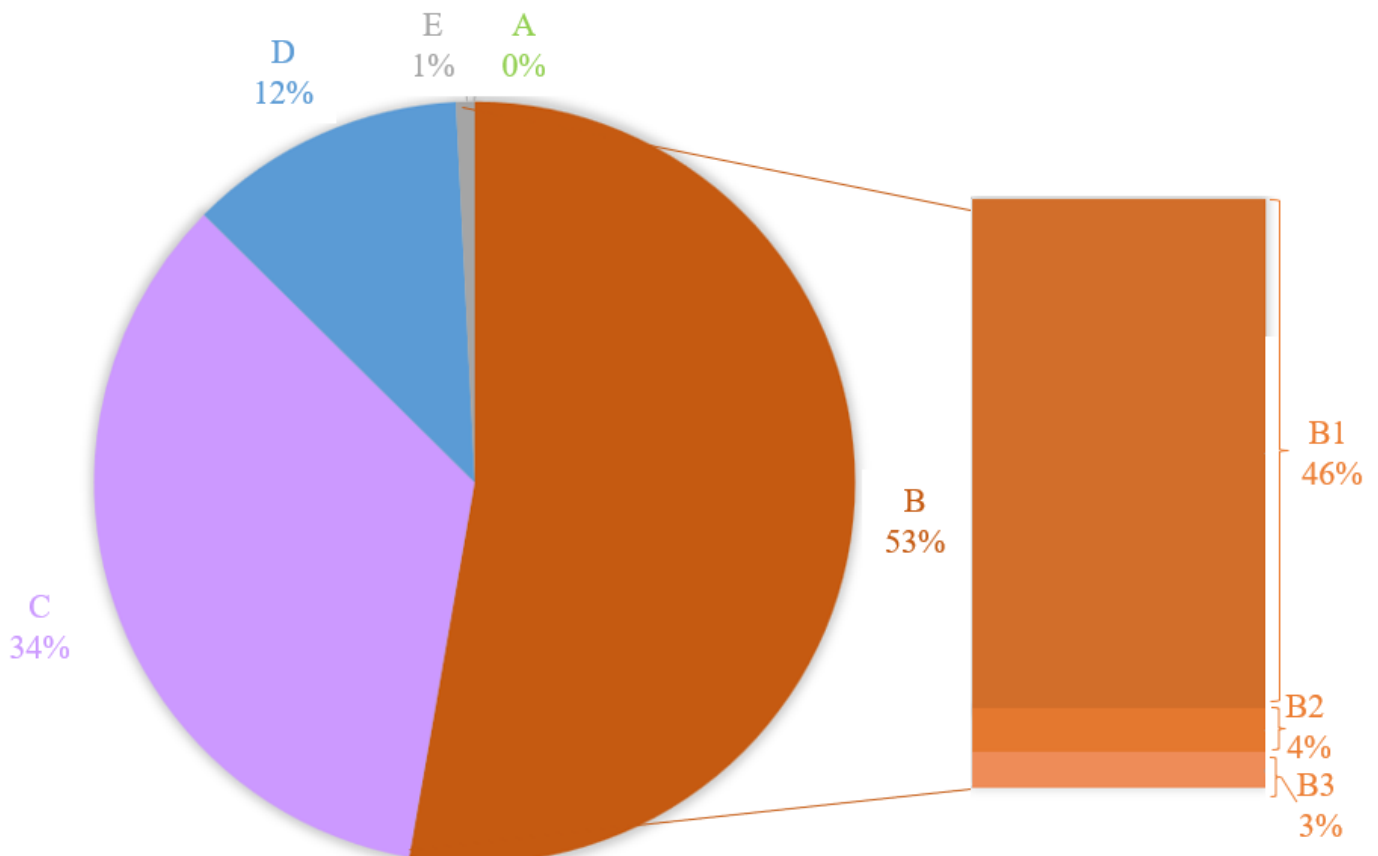


Figura 2. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D y E para la Pregunta 2. A la derecha en naranja se muestra la distribución de las subcategorías B.

Pregunta 3

De la **FIGURA 3**, considerando el objetivo de la pregunta 3, se puede observar que es muy bajo el porcentaje de personas que responden de manera correcta a esta cuestión, ya sea con modelo microscópico o macroscópico, tan solo el 4% de las respuestas se engloban en esta categoría. Es decir, los estudiantes no saben predecir qué ocurre con el agua que se queda en el plato, si bien es cierto que entre los dos tipos de propuesta correcta predomina la justificación microscópica sobre la macroscópica.

En cuanto a respuestas erróneas se encuentra porcentajes similares en todas las categorías (B,C,D) si bien persiste un alto porcentaje de sujetos que no justifican su respuesta (C). Estos resultados invitan a la desesperación pues indican que los estudiantes optan por no justificar sus respuestas y en caso de hacerlo en una gran mayoría lo hacen sin responder a lo que se pregunta, pues cuando afirman que la temperatura aumenta porque se evapora, como en la categoría B1, están aludiendo al agua que se evapora y no al que se queda en el plato, motivo principal de interés. La segunda explicación en la que los alumnos se encuentran más cómodos es justificando que la temperatura es constante porque se encuentra en equilibrio térmico.

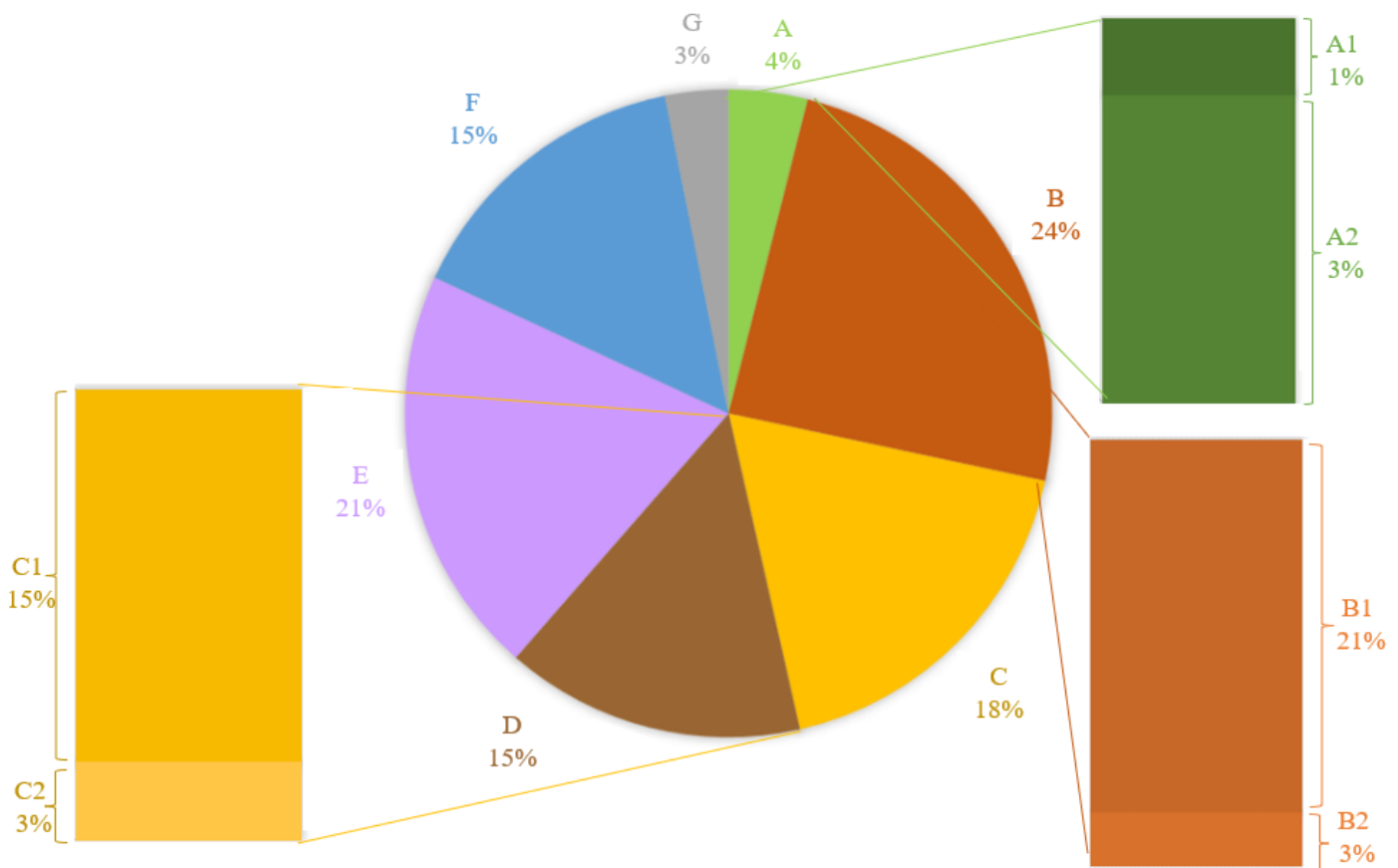


Figura 3. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D,E,F y G para la Pregunta 3. A la derecha en verde y en naranja se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A y B, a la izquierda en amarillo la distribución para las subcategorías de C.

Pregunta 4

Quando analizamos las respuestas que se han obtenido para la pregunta 4 se encuentra la siguiente distribución, **FIGURA 4**. En contraposición con las preguntas anteriores sí parece que aquí se dé más la respuesta que aplica el Primer Principio correctamente, ya que la categoría A engloba un 12% de las respuestas. Sin embargo, en igual proporción se encuentran los que confunden términos o los que justificando con la presión o el entorno, con lo cual no se trata de resultados alentadores. A mayores es notorio que el mayor porcentaje se halla en la categoría D, es decir, respuestas sin justificar, siendo considerablemente mayor (Datos recogidos en la **TABLA 9**) en el caso de que la elección sea incorrecta (D2: 31,5%) que en los que seleccionaron la respuesta correcta (D1:11%).

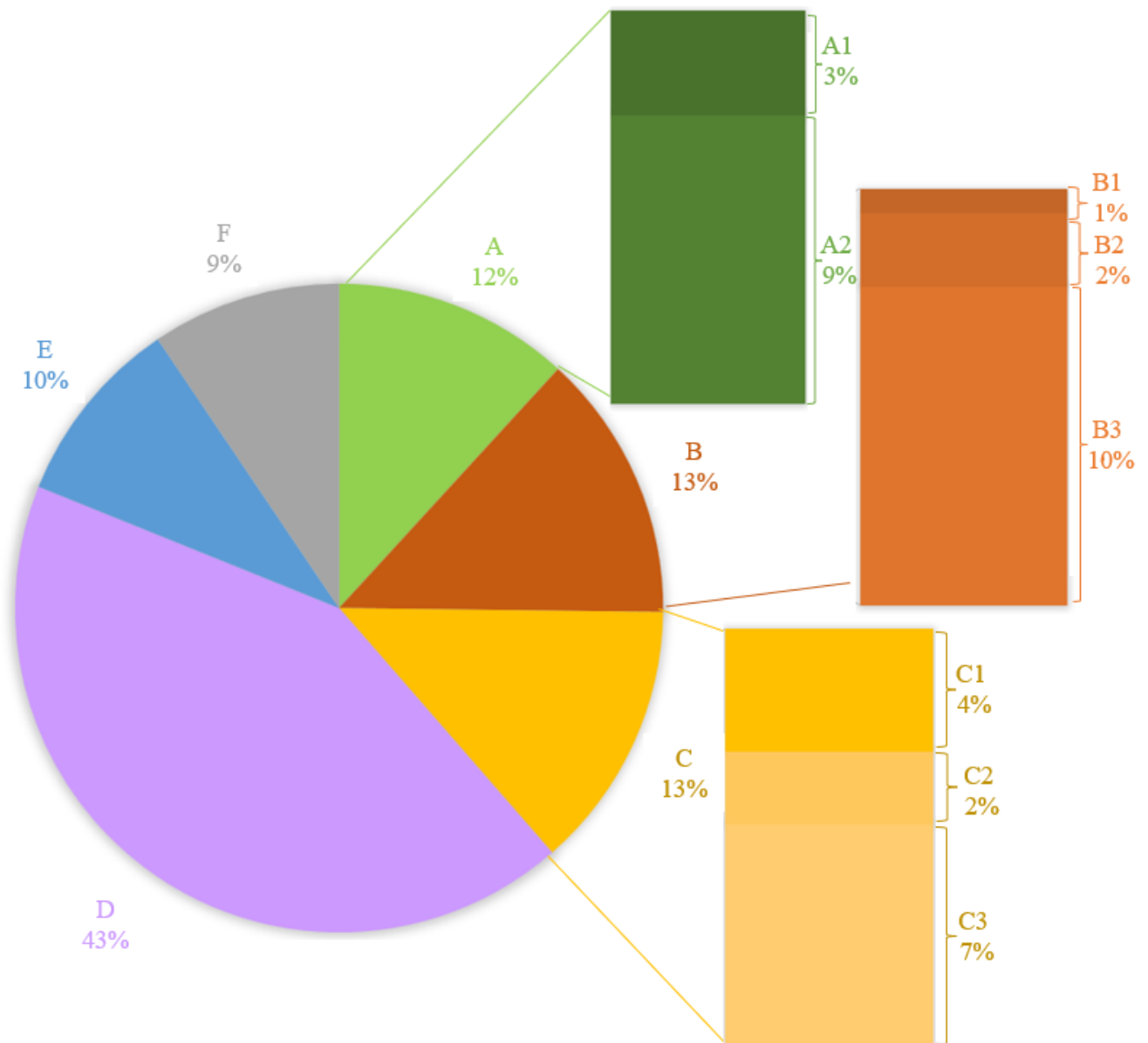


Figura 4. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D,E y F para la Pregunta 4. A la derecha en verde, en naranja y en amarillo se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A,B y C.

Pregunta 5

Con el gráfico mostrado en la **FIGURA 5** queda claro que el mayor porcentaje de estudiantes no identifica correctamente la temperatura como una medida de la energía de las partículas, con un 46% en la categoría B, y un 24% siguiente ni siquiera justifica la respuesta que da. Si bien es cierto dentro de los que sí conocen la relación entre las variables, 20% de la categoría A, no se encuentran diferencias entre los que aplican el Primer Principio (A1), la presión (A2) o la teoría cinético-molecular (A3). Sin embargo, dentro de la categoría B aparece como ligeramente predominante la justificación a través del Primer Principio, B3.

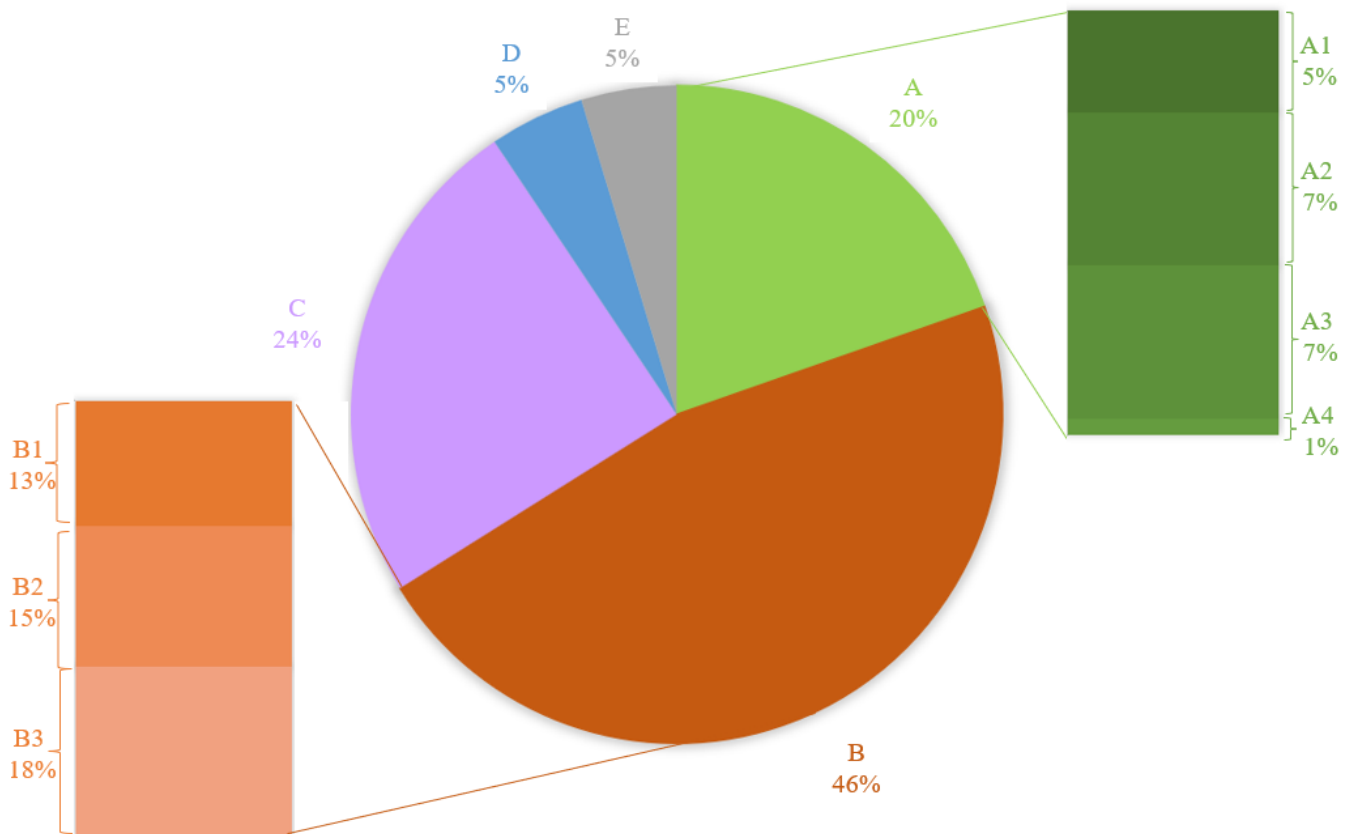


Figura 5. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D y E para la Pregunta 5. A la derecha en verde y a la izquierda en naranja se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A y B.

Pregunta 6

Se puede ver en el **FIGURA 6** para la pregunta 6 cómo se produce la polarización de respuestas principalmente entre dos frentes: aquellos que no identifican la relación entre las variables, categoría B, y aquellos que no justifican la respuesta, categoría D.

Quizá lo más llamativo es que pese a que las cuestiones 5 y 6 plantean problemas similares, la diferencia en el grado de respuestas válidas o justificadas entre ambas parece mostrar que los alumnos no han interiorizado la física del problema propuesto, y los dos planteamientos ligeramente diferentes conducen a resultado distinto en las dos preguntas. Ha disminuido considerablemente en esta pregunta en contraposición con la pregunta 5 tanto el porcentaje de personas que identifican la relación entre las variables, A, como el de personas que aducen la explicación a la presión, B2.

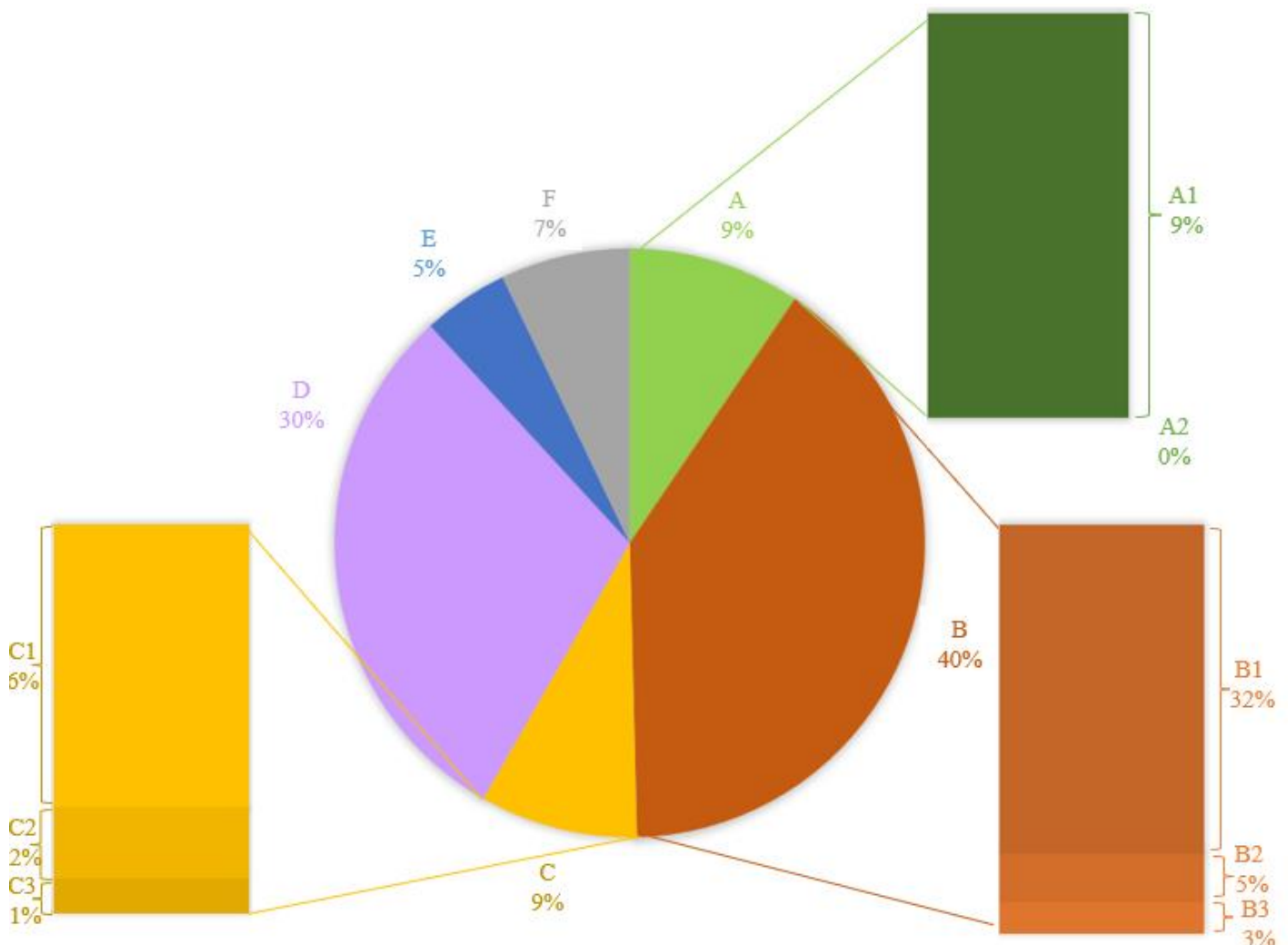


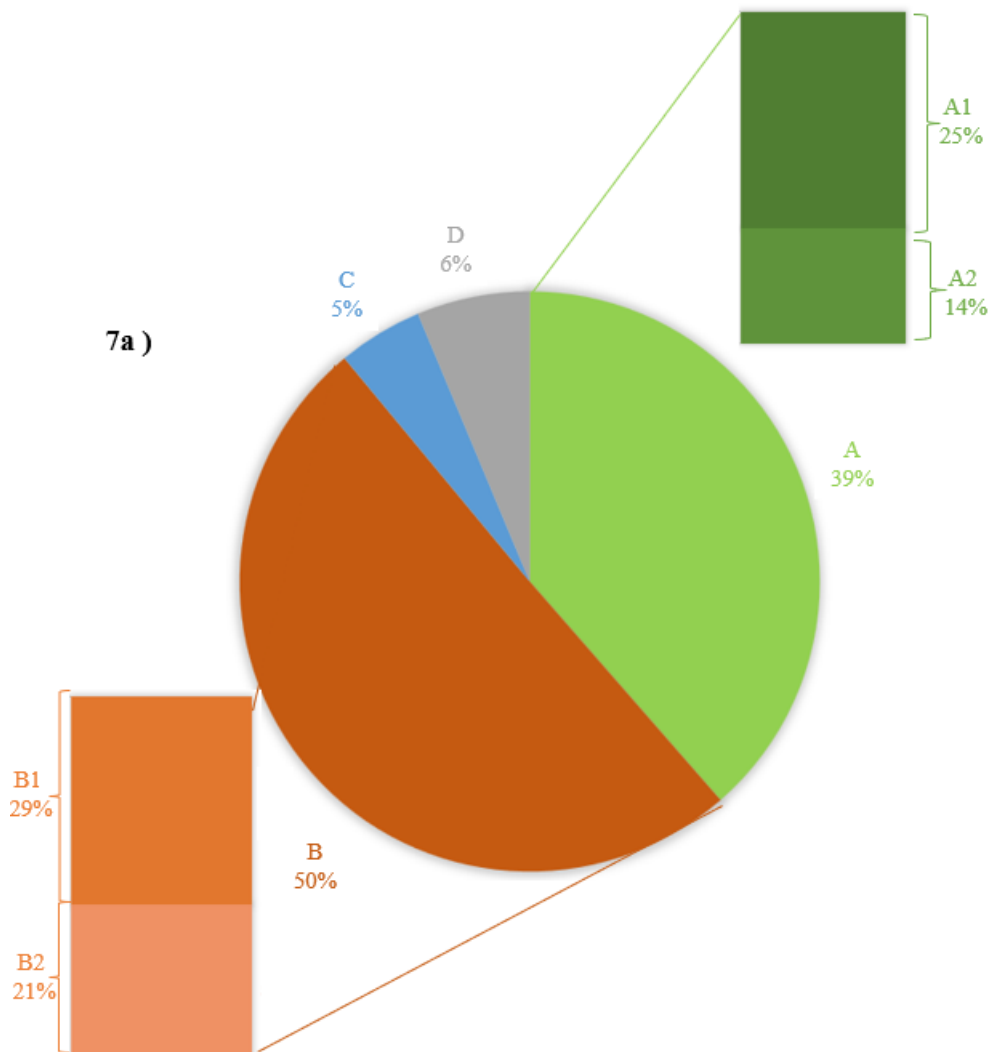
Figura 6. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D,E y F para la Pregunta 6. A la derecha en verde y en naranja se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A y B y a la izquierda en amarillo para C.

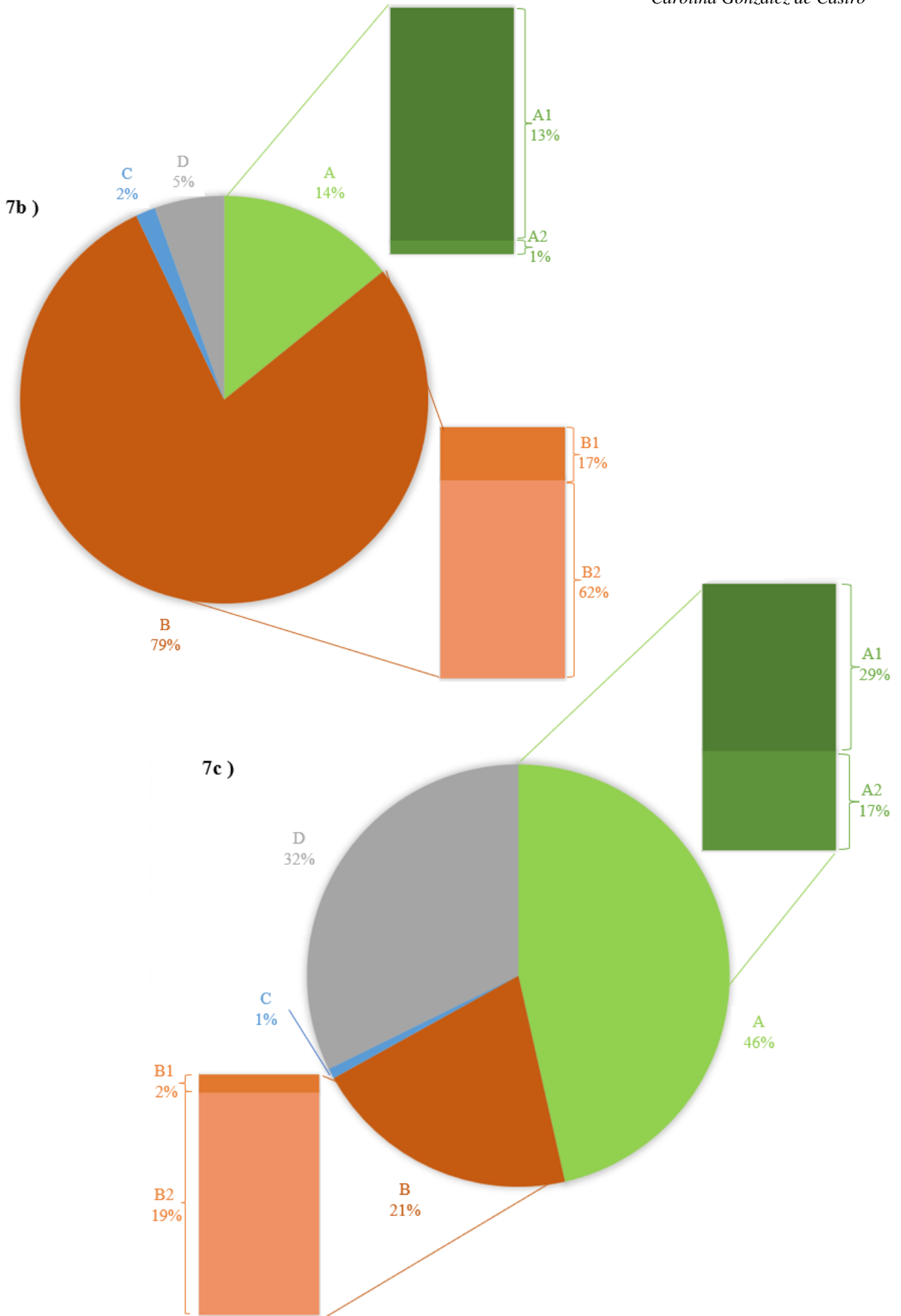
Pregunta 7

A continuación, en la **FIGURA 7** se muestran los gráficos para todos los apartados de esta pregunta. Se puede ver que en esta pregunta prácticamente no se han producido respuestas incoherentes, en ninguno de los apartados.

En las afirmaciones A, C y D se recoge más de un 35% de respuestas correctas mientras que la afirmación B recoge una alta incidencia de respuesta incorrecta. Bien es cierto que en C y D la frecuencia de ‘No sabe/no contesta’ es prácticamente igual al de respuestas correctas.

Se puede deducir a partir de los resultados de la afirmación A que en general no se conocen las características de un sistema cerrado; de la afirmación B dado que la mayoría afirman que es falsa pero no justifican su respuesta no se puede determinar una explicación concluyente; de la C y D se puede concluir que las respuestas se polarizan entre los que saben qué es adiabático y los que ni les suena el término y por ello ni contestan.





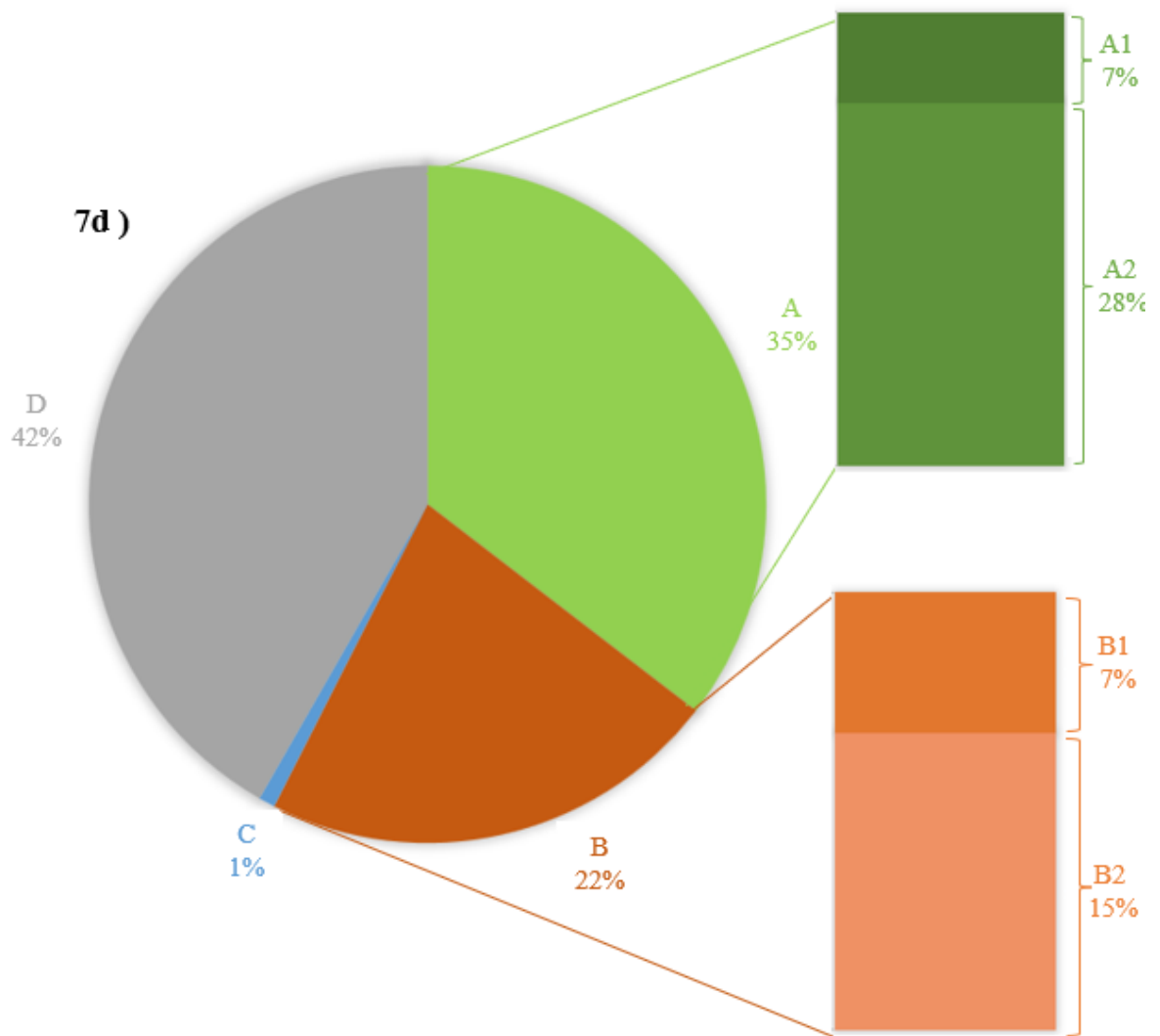


Figura 7. Gráficos de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C y D para la Pregunta 7. En cada uno en verde y en naranja se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A y B.

Pregunta 8

En esta última pregunta el gráfico mostrado en la **FIGURA 8** deja entrever que nuevamente son pocos los estudiantes que acuden al Primer Principio, y en gran porcentaje, 46%, los estudiantes consideran que se produce variación de presión y esta es la justificación para el fenómeno descrito, como justificación a la condensación, en especial la relación entre temperatura y presión.

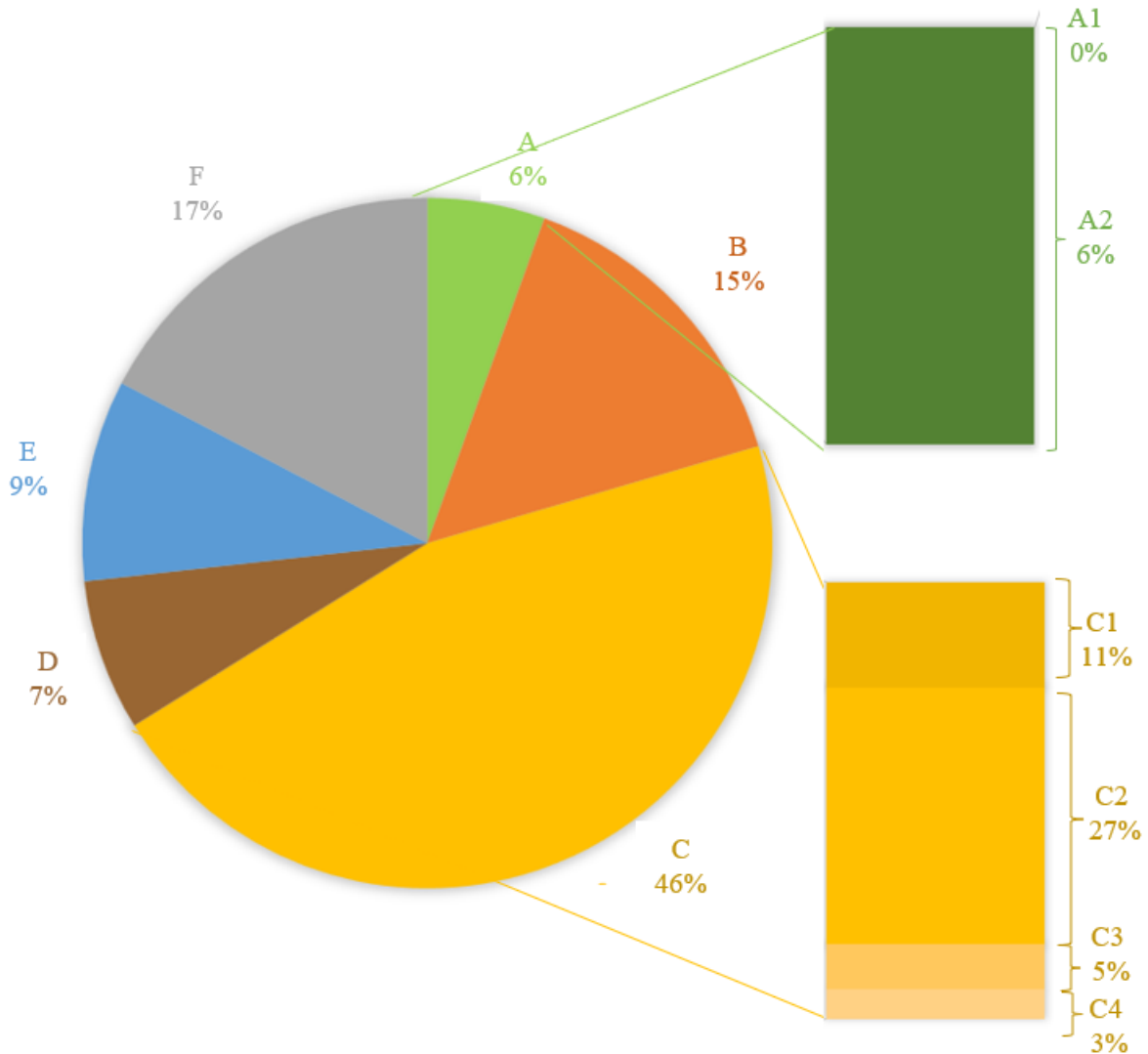


Figura 8. Gráfico de distribución de frecuencias de respuesta en las categorías A,B,C,D,E y F para la Pregunta 8. A la derecha en verde y en amarillo se muestra respectivamente la distribución de las subcategorías A y C.

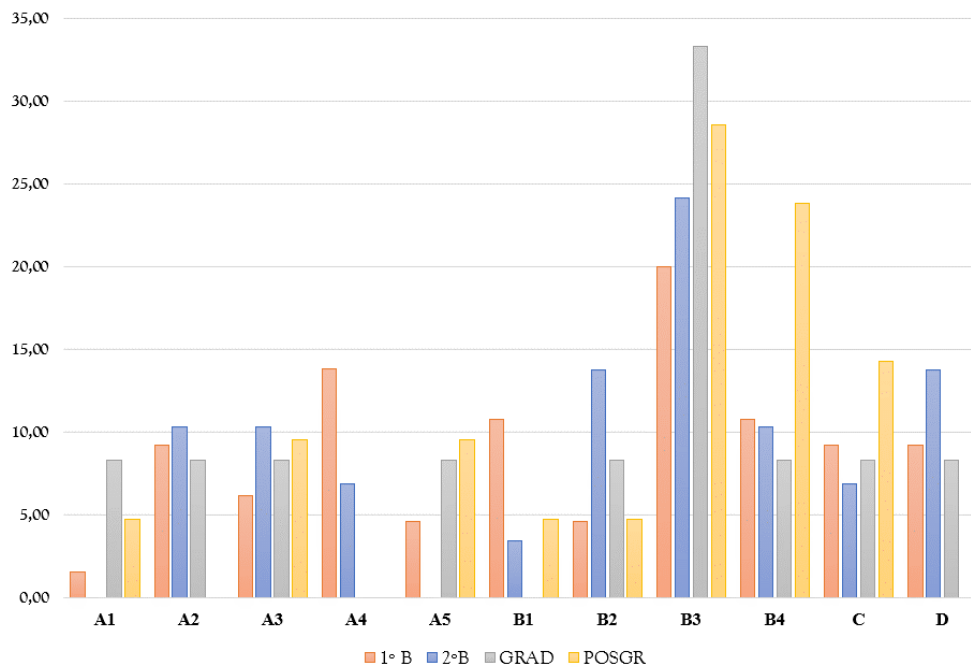
Comparativa por etapas

Ahora los estudiantes se agrupan y comparan en función de la etapa escolar en la que se encuentren: 1º de Bachillerato, 2º de Bachillerato, Alumnos de grado y Alumnos graduados o de posgrado. Para la significación nos fijamos en el parámetro de Fisher previamente descrito (Ec. 3) , para lo cual el valor de p tiene que ser inferior a 0,05 para poder decir que existe una diferencia significativa entre los grupos llevados a la comparativa. Como se comenta antes el bajo número de respuestas de estudiantes que se recogen hace que los resultados extraídos con los datos actuales sean provisionales en la medida en que ampliando la muestra pudieran matizarse o corregirse.

Pregunta 1

En la primera pregunta para los cuatro cursos encontramos una distribución similar de resultados, no encontrándose diferencias significativas, siendo en todos ellos prevaeciente la categoría B3 tal y como se advertía en la tendencia general. Esto implica que no solo la fricción se acentúa como principal justificante incluso a lo largo de los años de estudio de la materia, sino que además se muestra como agravante la no distinción que parece resistir al paso del tiempo entre los términos de calor y temperatura.

Porcentajes de frecuencias pregunta 1



Pregunta 2

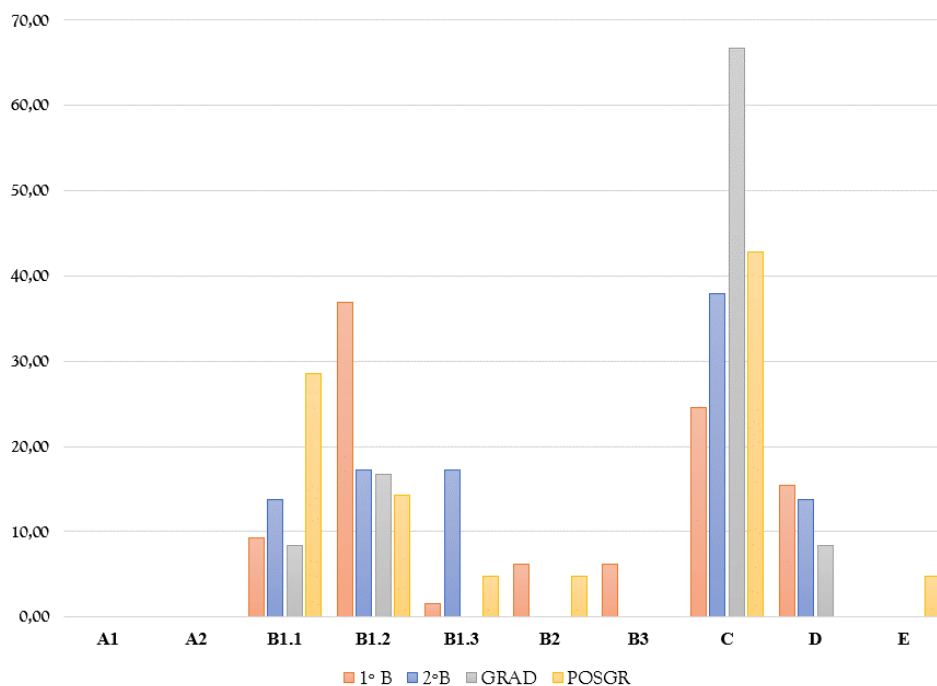
En este gráfico se puede observar claramente cómo para todos los cursos se destacan las mismas categorías generales, que son B1 y C como se obtenía en la tendencia general, y por tanto no hay diferencias significativas.

Mientras que los alumnos de 1º de Bachillerato se decantan claramente por la explicación a través de la teoría cinético molecular, B1.2, los de 2º de Bachillerato parecen sentirse cómodos tanto con esta como con la ley de los gases o incluso una combinación de ambas opciones, así como les ocurre a los alumnos de grado. Para los alumnos de posgrado sin embargo parece cobrar más importancia la ley de los gases o la proporcionalidad de la presión y la temperatura, B1.1.

La comodidad de los alumnos de 1º de Bachillerato en la teoría cinético molecular, quizá porque es un conocimiento que han tenido de asentar mejor de cursos anteriores. Por el contrario, los alumnos de posgrado se polarizan entre los que justifican con la ley de los gases y los que no justifican su respuesta.

Con todo ello lo que se puede entender es que a lo largo de los años de estudio se evoluciona desde la teoría cinético molecular a la ley de los gases ideales y en cualquier caso hacia la inseguridad acerca de la respuesta.

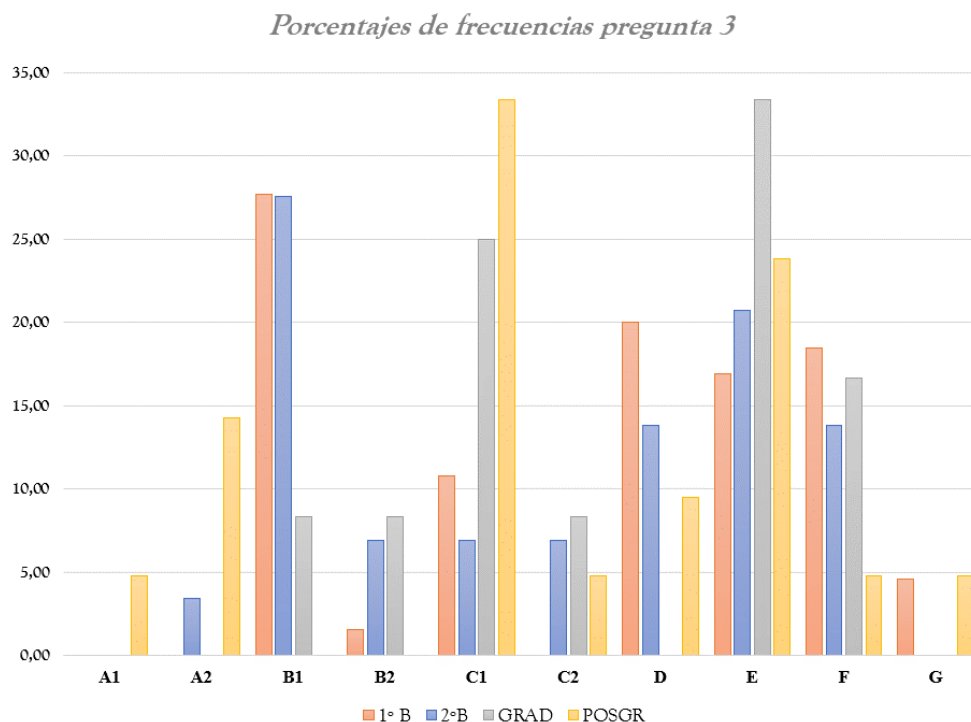
Porcentajes de frecuencias pregunta 2



Pregunta 3

Los dos cursos de bachillerato coinciden en la categoría en la que encuentran mayor incidencia, una cuarta parte de los estudiantes, que sería la de la categoría B1, es decir, tal y como decía antes no hablan de la temperatura del agua que se queda en el plato sino de la que se evapora. En el caso de los estudiantes de grado y los de posgrado encontramos que los dos grupos de mayor porcentaje coinciden, siendo estos las categorías C1 y E, si bien esta última indica la falta de ganas, lectura o conocimiento que pueden creer los estudiantes que creen a pesar de haber estudiado la materia.

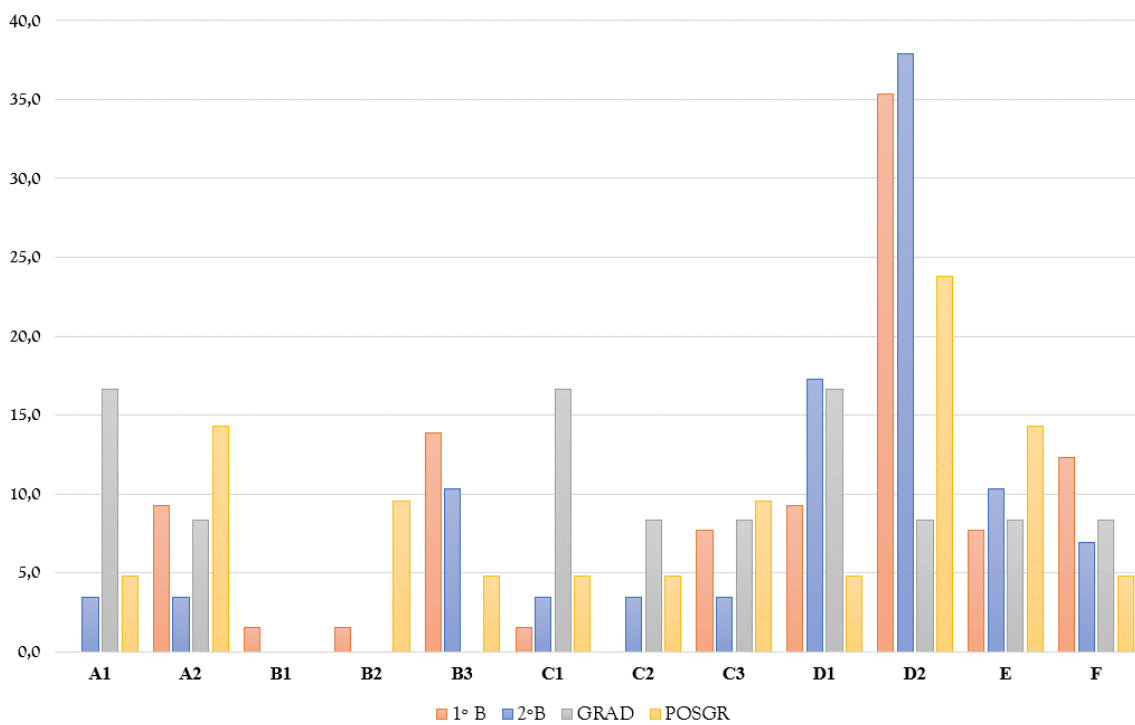
Esta diferencia significativa ($p=0,0113$ (EC. 3)) respecto a las preguntas correctas que se obtiene entre alumnos de bachillerato y alumnos universitarios si bien es esperada, un 20% (A1+A2) de los alumnos de posgrado sabe que la temperatura disminuye, es agrídulce pues en primer lugar estos mismos alumnos tienden más a pensar que la temperatura se mantiene constante por equilibrio térmico, y en segundo lugar porque los alumnos de bachillerato no saben sobre ello.



Pregunta 4

De la comparativa entre todos los cursos para esta pregunta se puede advertir que mientras los estudiantes de grado se reparten de manera equitativa por las franjas de categorías, especialmente en torno a A1,C1 y D1, el resto de grupos encuentran su porcentaje más elevado en D2, si bien es seguido por A2 en el caso de los estudiantes de posgrado y por B3 para todos los de la etapa escolar de bachillerato. Con todo esto la diferencia no es significativa entre alumnos de bachillerato y universitarios, pero está próxima a serlo ($p=0,0656$ (Ec. 3)). Sigue la tendencia que se ha percibido de manera general.

Porcentajes de frecuencias pregunta 4



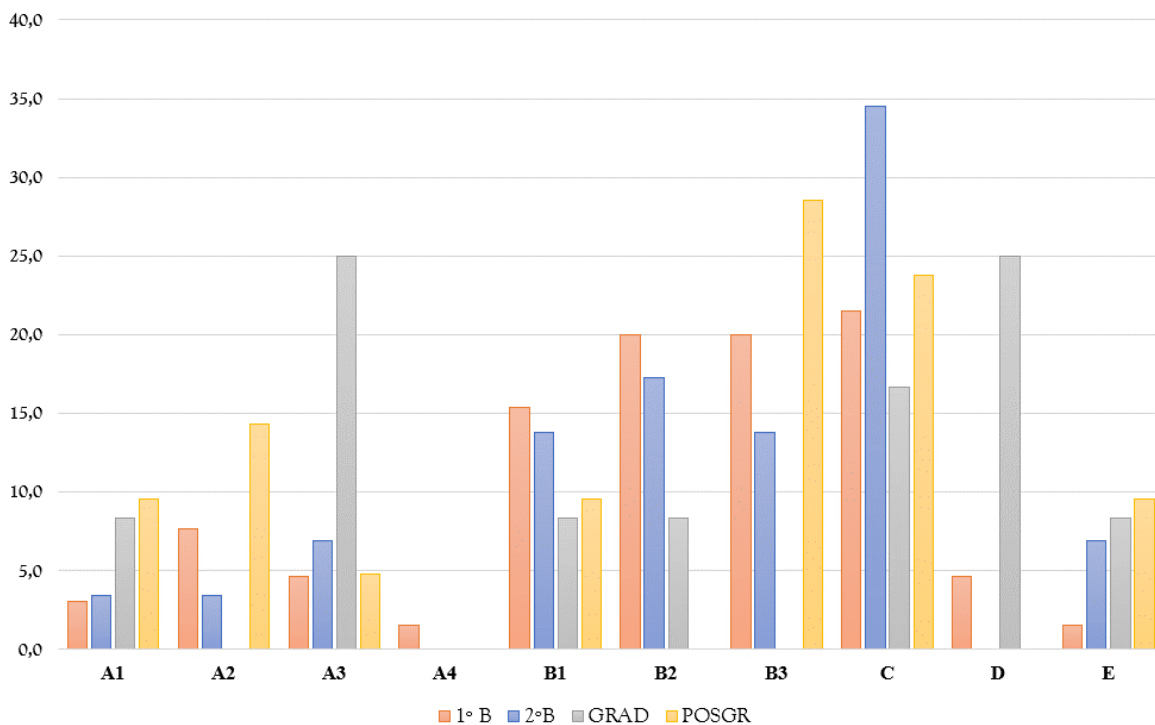
Pregunta 5

No parece haber diferencias significativas concretas en comparaciones particulares, aunque sí es prácticamente significativa ($p=0,0651$ (**Ec. 3**)) la que aparece al comparar en su conjunto los alumnos de bachillerato en contraposición con los alumnos universitarios. Hay mayor proporción de respuestas correctas en el grupo universitario en contraposición a los alumnos de bachillerato, como cabría esperar.

Entre los alumnos de 1º de Bachillerato parece mostrar mayor incidencia la no justificación, aunque le siguen de cerca todas las categorías B; en cualquier caso, no identifican la temperatura con la energía interna. En 2º de Bachillerato se observa la misma distribución que en 1º aunque más reforzada la categoría de no justificar, la categoría C. Los alumnos de grado se encuentran polarizados entre respuestas incoherentes y la correcta identificación de la relación entre temperatura y energía interna a través de la teoría cinético molecular. En los alumnos de posgrado se reparten entre la no justificación y la aplicación del primer principio, pero sin relacionar temperatura con energía interna.

Con todo ello podemos concluir que esta relación entre variables parece existir en todos los cursos, aunque no como justificación principal exceptuando a los alumnos de grado.

Porcentajes de frecuencias pregunta 5

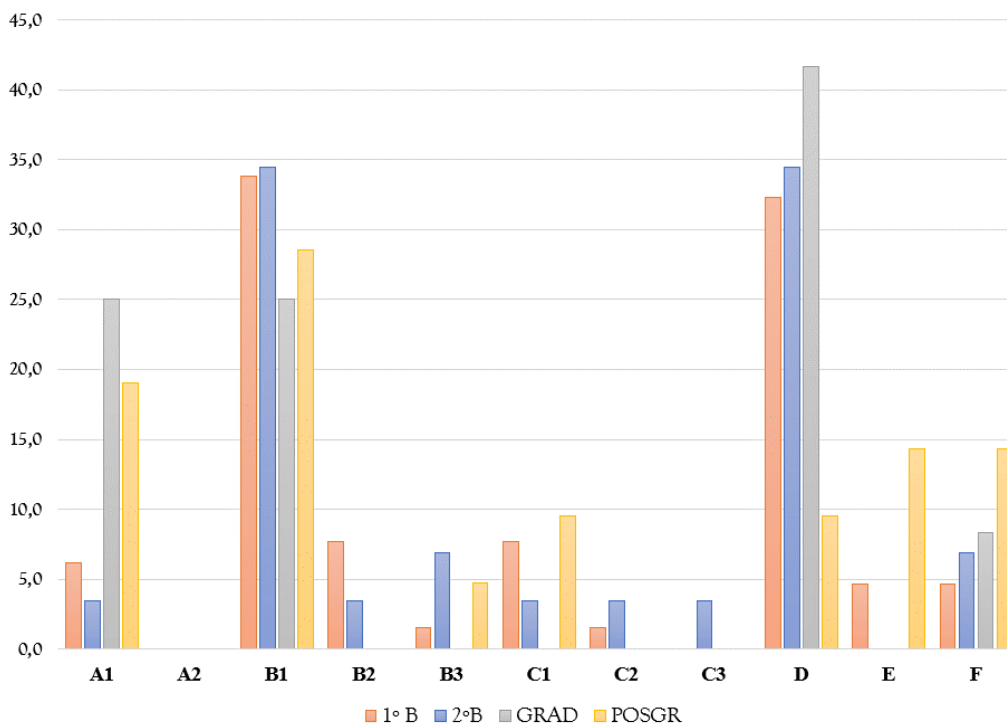


Pregunta 6

La agrupación por etapas escolares permite apreciar una diferencia significativa ($p=0,0258$ (Ec. 3)) al comparar bachillerato con alumnos universitarios, encontrándose la mayor diferencia en la cantidad de respuestas correctas que los alumnos universitarios (tanto de grado como de posgrado) son capaces de acumular en contraposición con los alumnos de bachillerato.

Esto implica que los segundos en esta pregunta al menos sí reconocen en gran medida la relación de las variables, aunque no de forma mayoritaria, mientras que para los alumnos de bachillerato las mayores incidencias se acumulan en las categorías B1 y D, con lo cual quiere decir que o no saben justificar la respuesta o aunque sepan, justificándolo por un intercambio de energía o temperatura, no identifican la relación entre temperatura y energía. En los alumnos de posgrado también encontramos que la mayoría se basan en el mismo razonamiento que los alumnos de bachillerato.

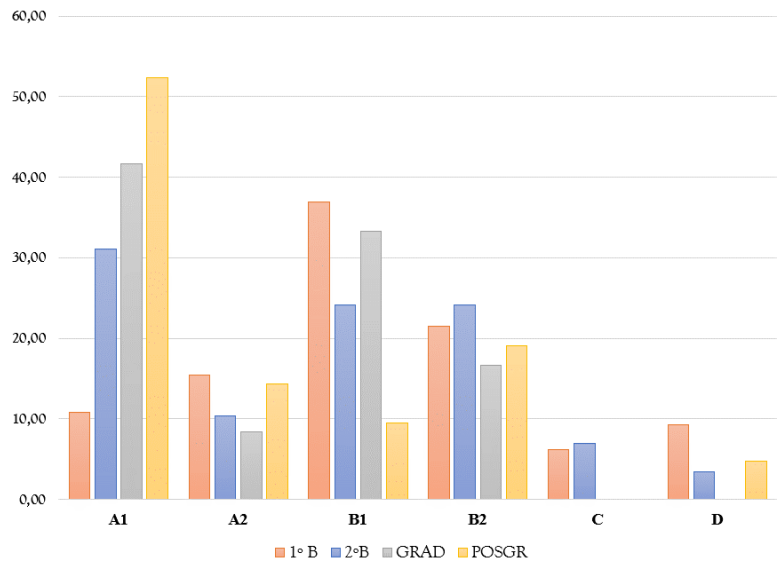
Porcentajes de frecuencias pregunta 6



Pregunta 7

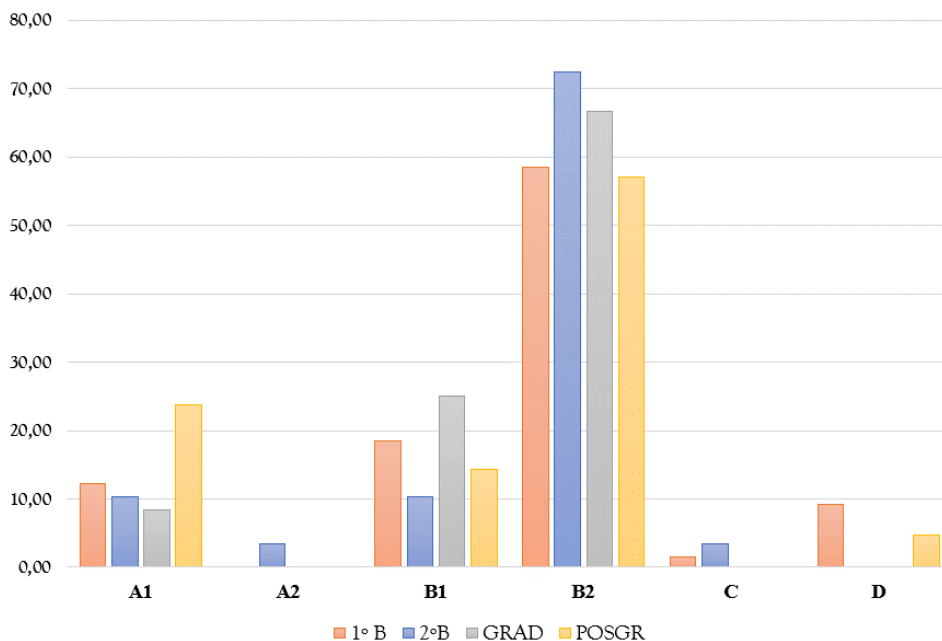
En el caso del apartado A las diferencias son claras entre las respuestas correctas que son capaces de acumular los alumnos universitarios en contraposición con los alumnos de bachillerato, obteniéndose una diferencia significativa ($p=0,00079$ (Ec. 3)). Quiere decir que los alumnos universitarios conocen en su mayoría que es un sistema cerrado, lo cual no ocurre tanto en los alumnos de bachillerato.

Porcentajes de frecuencias pregunta 7A



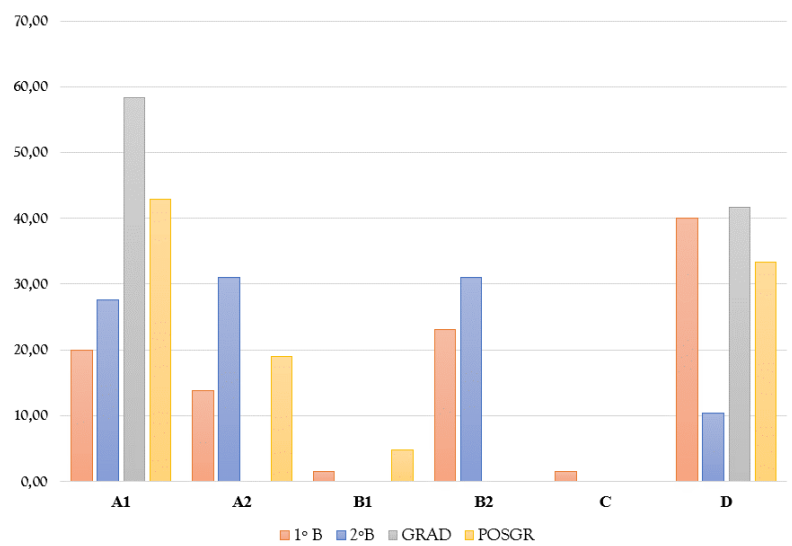
Para el apartado B no se aprecian diferencias significativas, ya que la distribución se mantiene por igual para todos los cursos, siendo en cualquier caso la categoría de mayor frecuencia la B2, es decir consideran que la afirmación es verdadera pero no justifican por qué. Es posible que el error puede recaer en la formulación de la afirmación y en que los estudiantes no se paren a pensar en la diferencia entre “forma” de energía o “transferencia” de energía.

Porcentajes de frecuencias pregunta 7B



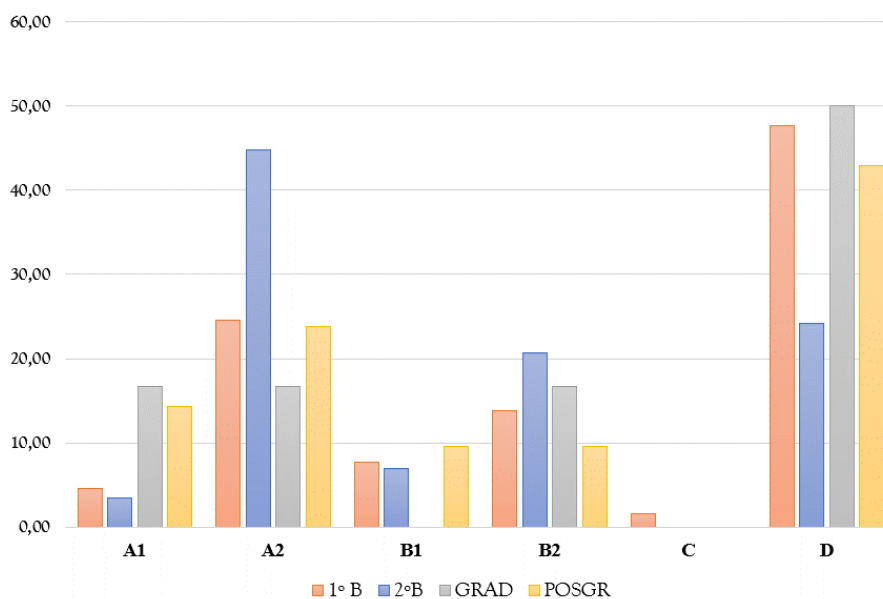
En el apartado C aparece diferencia significativa para 1° de Bachillerato con todos los demás grupos estudiados ($p=0,015$ con 2° de Bachillerato, $p=0,072$ con alumnos de grado, $p=0,0163$ con alumnos de posgrado (**EC. 3**)) es decir, el conjunto de respuestas correctas (categoría A1 y A2) es muy inferior en el caso de 1° de Bachillerato. Con lo cual esto parece significar exceptuando los alumnos de 1° de Bachillerato el resto de manera general tiene nociones sobre ello, aunque tampoco demasiado concluyentes.

Porcentajes de frecuencias pregunta 7C



Por último, en el apartado D la diferencia significativa aparece curiosamente entre los dos grupos de bachillerato ($p=0,0387$ (**EC. 3**)), ya que en 2° de Bachillerato la mayor frecuencia se acumula en A2. Sin embargo, esto no permite sacar conclusiones determinantes. Dada la gran cantidad de “no respuestas” que aparecen en la mayoría de los grupos, parece que tanto los de grado como los de posgrado, con el tiempo olvidan algunos de estos conceptos, como el de isocórico, mientras que los de 1° de Bachillerato es posible que aún no lo hayan aprendido.

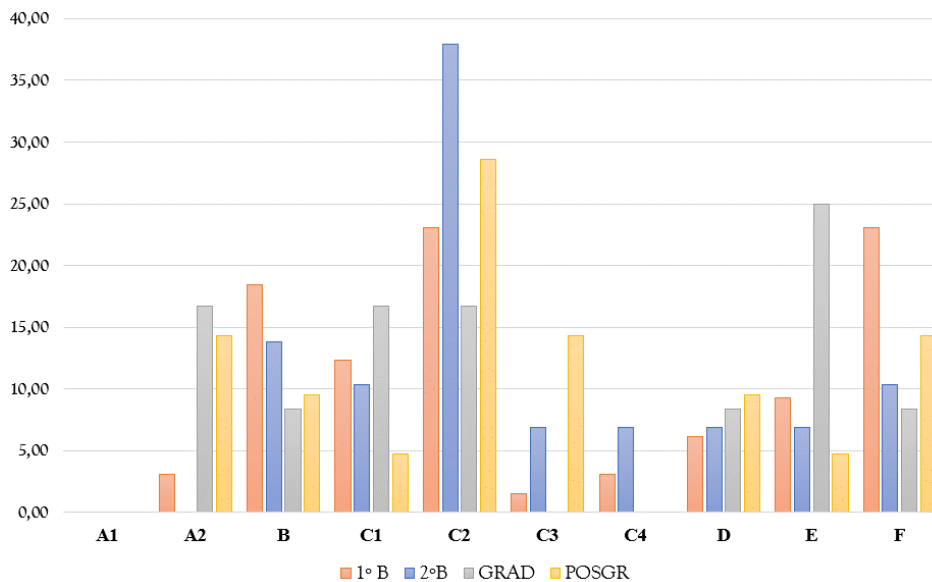
Porcentajes de frecuencias pregunta 7D



Pregunta 8

A partir de la comparativa de esta última pregunta se puede extraer que existe diferencia significativa entre los grupos de bachillerato y los grupos universitarios ($p=0,0356$ (**Ec. 3**)), ya que se acumulan frecuencias más o menos elevadas (en torno al 15% para cada grupo) en las categorías correctas para estos últimos en contraposición con los de bachillerato. Con esto podemos concluir que los alumnos de bachillerato no identifican que en esta situación se pueda aplicar el Primer Principio, algo que sí parecen advertir, o al menos en mayor medida, los alumnos universitarios. Sin embargo, para ninguno de los grupos aparece como la respuesta mayoritaria, que tiende a ser, a expensas de las categorías incoherentes o sin contestar, la ley de los gases o la proporcionalidad presión-temperatura, categoría C2, lo cual se subraya también en la tendencia general.

Porcentajes de frecuencias pregunta 8



Resumen de diferencias destacables en la comparativa por etapas

A modo de resumen de las diferencias más importantes de las comentadas en este apartado se puede ver en la **Tabla 17** los valores obtenidos a partir de Fisher (**EC. 3**).

*Tabla 17. Recopilación de las diferencias más destacables en la comparación de las respuestas por etapas.
* diferencia significativa, $0,01 < p < 0,05$; ** diferencia muy significativa, $p < 0,01$*

Pregunta	Grupos comparados	Valor de p
3	Bachillerato – Universitarios	* $p=0,0113$
4		$p=0,0656$
5		$p=0,0651$
6		* $p=0,0258$
7A		** $p=0,00079$
7C	1° Bachillerato – 2° Bachillerato	* $p=0,015$
	1° Bachillerato – Alumnos Grado	$p=0,072$
	1° Bachillerato – Alumnos Posgrado	* $p=0,0163$
7D	1° Bachillerato – 2° Bachillerato	* $p=0,0387$
8	Bachillerato – Universitarios	* $p=0,0356$

Comparativa de dos centros

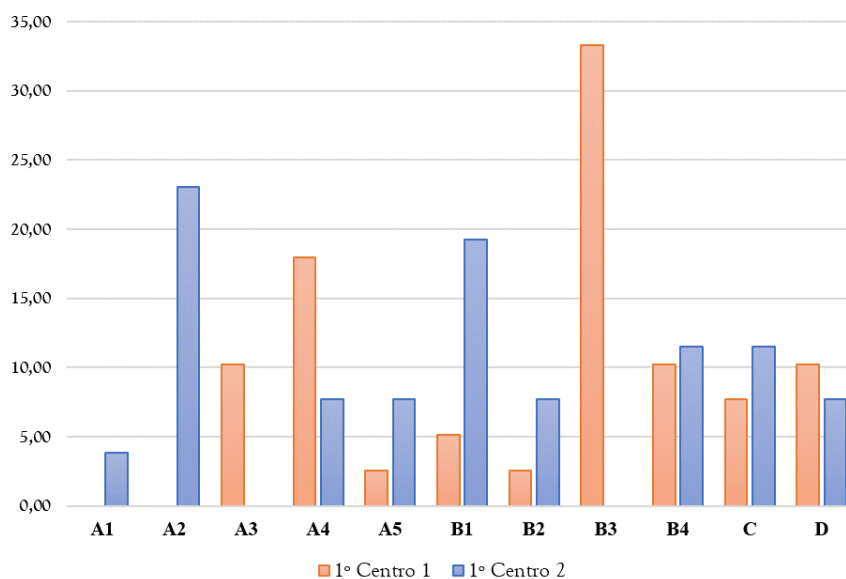
A continuación, se han tomado únicamente las respuestas de los grupos de 1º de Bachillerato de ambos centros, Centro 1 y Centro 2, para sacar conclusiones a través de la comparativa de frecuencias. Se explican aquellas preguntas en las que se han encontrado comentarios interesantes que realizar mientras que el resto de gráficas se encuentran en el **ANEXO II**.

Dado que esta comparativa implica trabajar con un tamaño de muestra mucho menor que en comparativas anteriores, cabe recalcar aún más que estas respuestas son provisionales y que el objetivo principal de realizar la comparativa, a pesar de la cantidad de alumnos, es mostrar otro tipo de análisis que se pueden realizar en sucesivos estudios.

Pregunta 1

Si bien la diferencia de respuestas correctas no aparece como significativa entre ambos centros, en el Centro 1 las respuestas se concentran en las categorías A4 y B3 (51%) y en el Centro 2 las respuestas se encuentran en las categorías A2 y B1 (42%). Es decir, mientras en el Centro 1 las explicaciones parecen haberse centrado más en la relación presión-temperatura y en la fricción como elemento principal que explica el fenómeno, en el Centro 2 sí hacen alguna alusión al Primer Principio de la Termodinámica y a la teoría cinético molecular. La aplicación de la primera ley de la Termodinámica (categorías A1 y B1) es bastante superior, incluso aunque conlleve errores, en el centro 2 (23%) con respecto al centro 1 (5%).

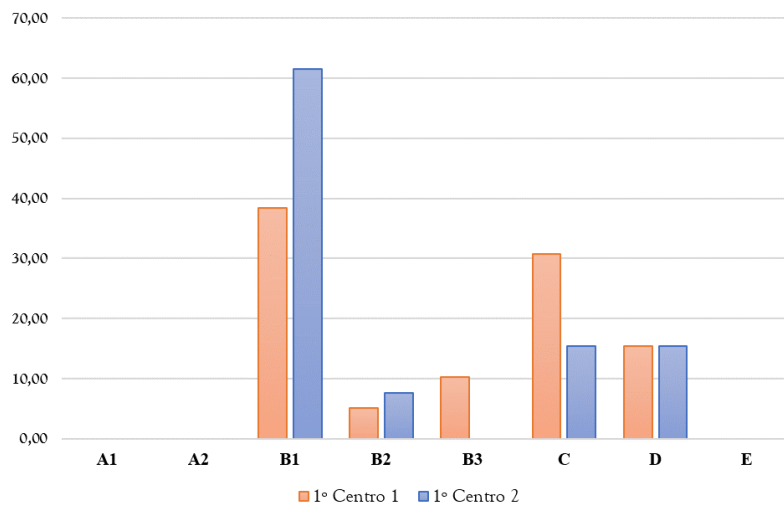
Porcentajes de frecuencias pregunta 1



Pregunta 2

Dado que en ninguno de los grupos se ha aplicado el Primer Principio ni hay diferencias significativas ni contradice la conclusión general de la pregunta. Además, en ambos casos los mayores resultados aparecen en la categoría B1, y de manera coincidente se mantienen elevados especialmente con la teoría cinético molecular.

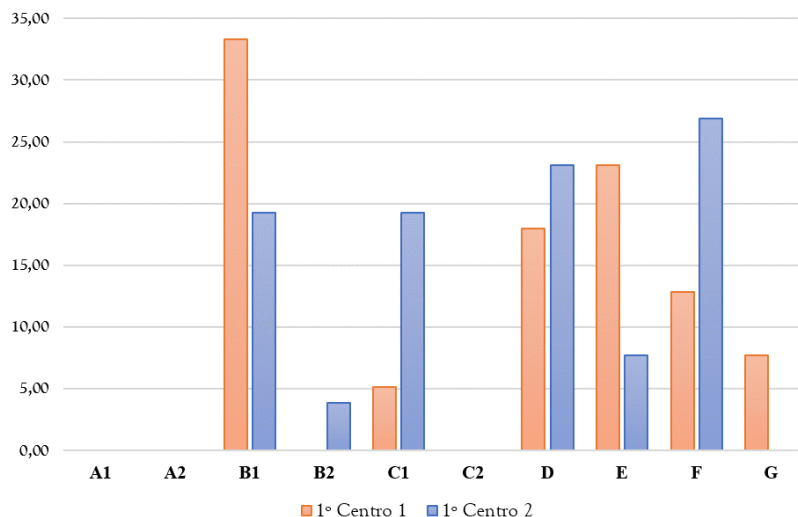
Porcentajes de frecuencias pregunta 2



Pregunta 3

Al igual que en la pregunta anterior al no haber respuestas correctas no hay diferencias significativas entre ambos grupos si bien es cierto que en el Centro 1 el mayor porcentaje de respuestas se centra en la categoría B1, es decir no leen el enunciado y como tal consideran que la temperatura aumenta, mientras que en el Centro 2 se reparten entre esa misma justificación y el equilibrio térmico que justifique una temperatura constante.

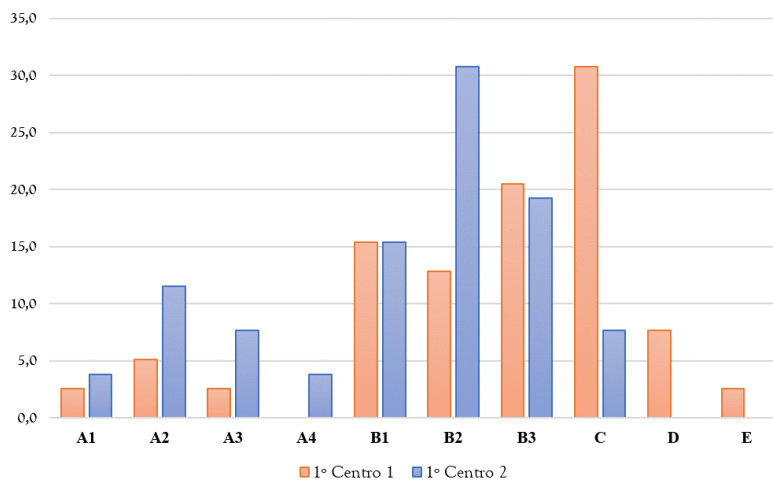
Porcentajes de frecuencias pregunta 3



Pregunta 5

Al comparar los dos centros las diferencias son próximas a ser significativas ($p=0,0604$ (Ec. 3)), observándose esto en el gráfico de frecuencias que se presenta pues el centro 2 parece conocer mejor la relación entre las variables que el centro 1. Aunque en ningún caso es predominante el conocimiento de la relación, el uso del Primer Principio se mantiene similar en ambos centros, y aparece como razonamiento mayoritario en el centro 2 la teoría cinético-molecular mientras que en el centro 1 no justifican, responden intuitivamente.

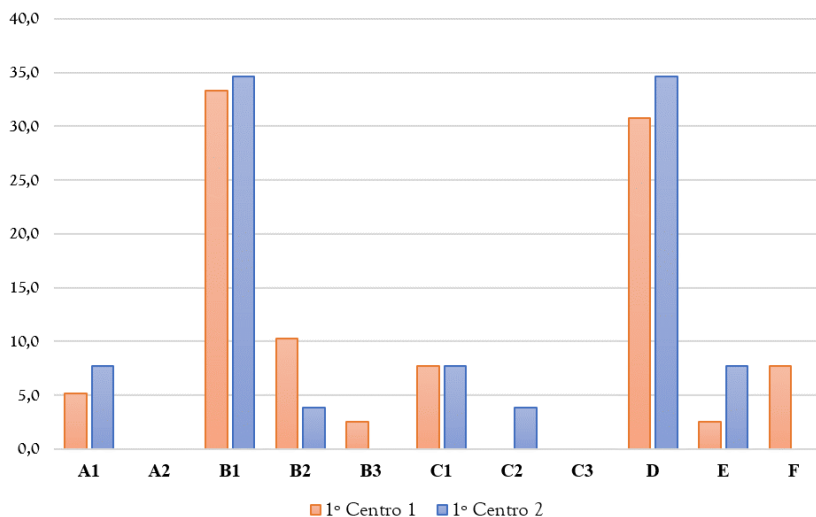
Porcentajes de frecuencias pregunta 5



Pregunta 6

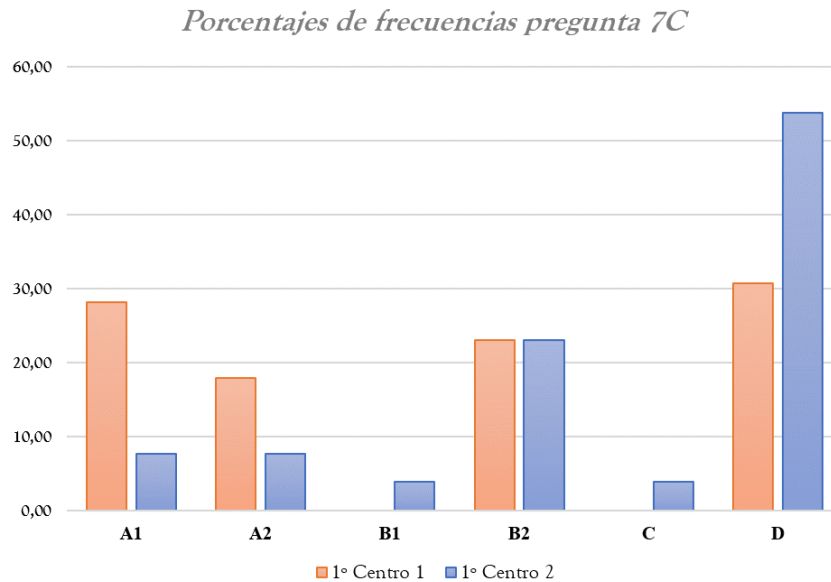
No es significativa la diferencia que se encuentra entre los centros, manteniendo en ambos casos la tendencia comentada para 1º de Bachillerato, no se produce una buena identificación de las variables y justifican a través del intercambio energético o de temperatura.

Porcentajes de frecuencias pregunta 6



Pregunta 7

En el caso del apartado C sí que se muestra como muy significativa la diferencia ($p=0,00767$), siendo el centro 1 el que acumula mayor incidencia de respuestas correctas, mientras que en el centro 2 se acumulan en no responder. Es posible que esto se deba a una diferencia en el modo de impartir el contenido de la materia entre los dos centros.



Resumen de diferencias destacables en la comparativa entre centros

A modo de resumen de las diferencias más importantes de las comentadas en este apartado se puede ver en la **TABLA 18** los valores obtenidos a partir de Fisher (**EC. 3**).

*Tabla 18. Recopilación de las diferencias más destacables en la comparación de las respuestas por centros.
* diferencia significativa, $0,01 < p < 0,05$; ** diferencia muy significativa, $p < 0,01$*

Pregunta	Grupos comparados	Valor de p
5	1° Centro 1 – 1° Centro 2	$p=0,0604$
7C		** $p=0,00767$

Comparativa de dos grupos del mismo centro

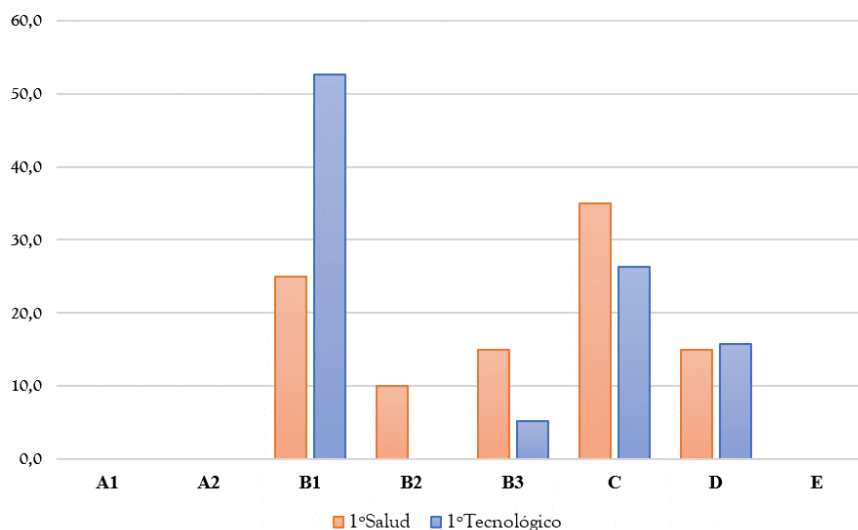
Otro análisis que es posible realizar con los datos que se extraigan es la comparación entre los grupos de 1º de bachillerato del mismo centro para ver si existen diferencias entre los alumnos que estudian ciencias de la salud o ciencias tecnológicas. Al igual que la comparativa anterior en este trabajo el tamaño muestral es pequeño, pero sirve como una primera aproximación a partir de la cual se puedan construir análisis posteriores.

En este trabajo se han tomado los dos grupos del Centro 1 y solo se han encontrado diferencias en las preguntas que se detalla a continuación. Del resto de preguntas se recogen las gráficas en el **ANEXO III**. Es interesante realizar esta comparativa puesto que ambos grupos en los cursos anteriores tuvieron la misma profesora y solo ha sido durante este curso cuando han tenido dos profesoras de física y química diferentes.

Pregunta 2

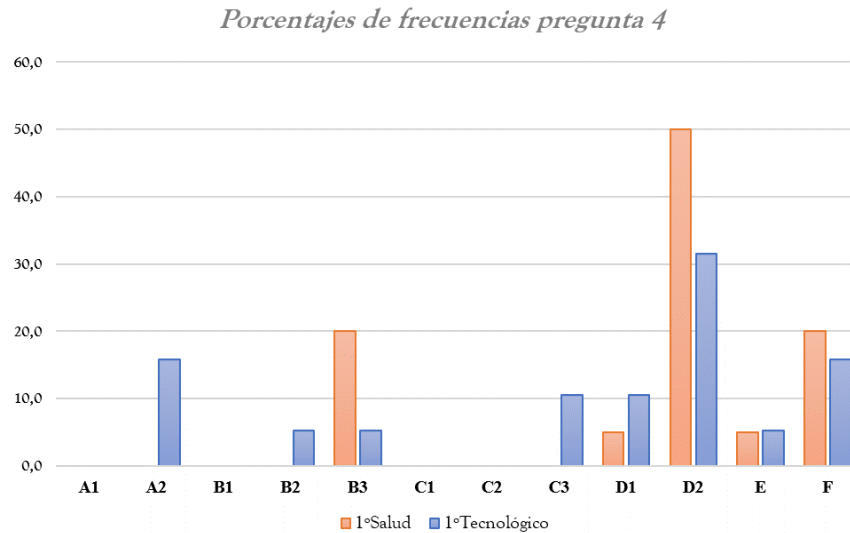
En esta pregunta lo que se puede concluir es que los alumnos de bachillerato tecnológico tienen quizá más reforzada la idea de la teoría cinético molecular, mientras que los alumnos de salud si bien también se encuentran en ese campo muchos tienen aún dudas acerca de cómo se produce la variación de la temperatura, y por ello se distribuyen entre B2 y B3.

Porcentajes de frecuencias pregunta 2



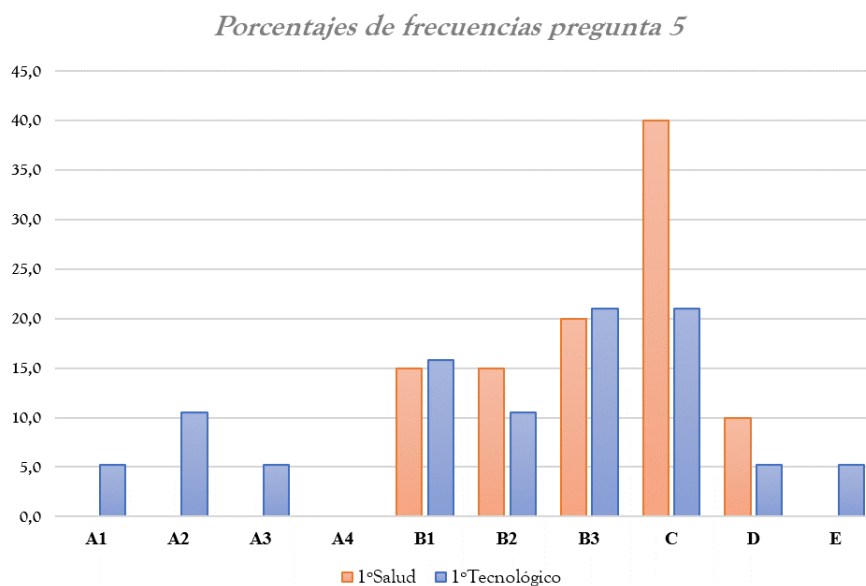
Pregunta 4

No se extraen diferencias significativas, pero sí se observa que los alumnos de ciencias de la salud tienden a confundir calor y temperatura en mayor proporción, y que los alumnos de tecnológico sí que poseen mayor conocimiento de la correcta aplicación del primer principio.



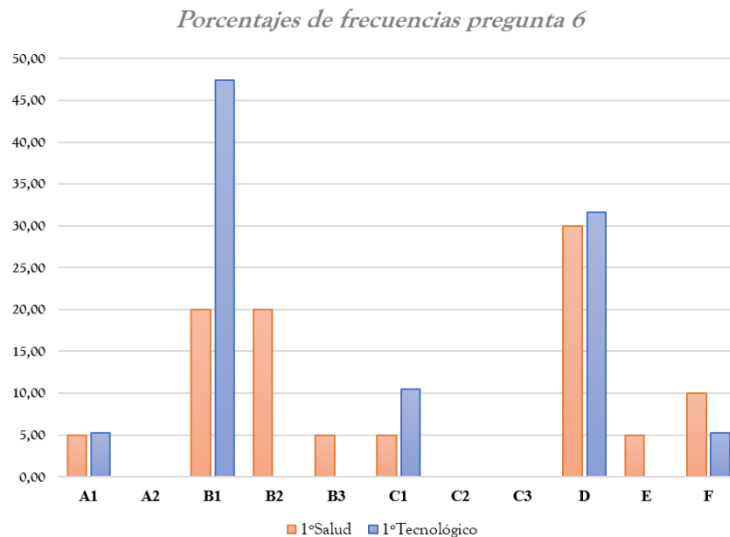
Pregunta 5

Sí es significativa la diferencia entre ambos grupos para esta pregunta ($p=0,0471$ (**Ec. 3**)), ya que mientras en el grupo de ciencias de la salud la mayoría, un 40%, no justifican su respuesta, los alumnos del grupo tecnológico, en torno a un 21%, son capaces de identificar la relación entre la temperatura y la energía interna y dan justificaciones variadas.



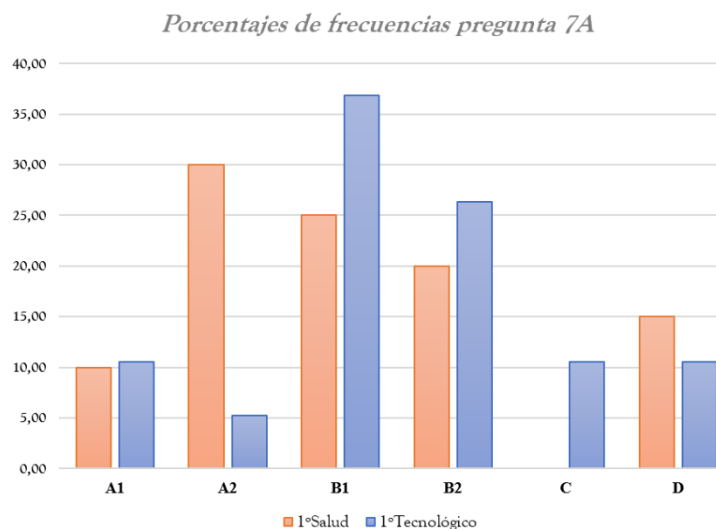
Pregunta 6

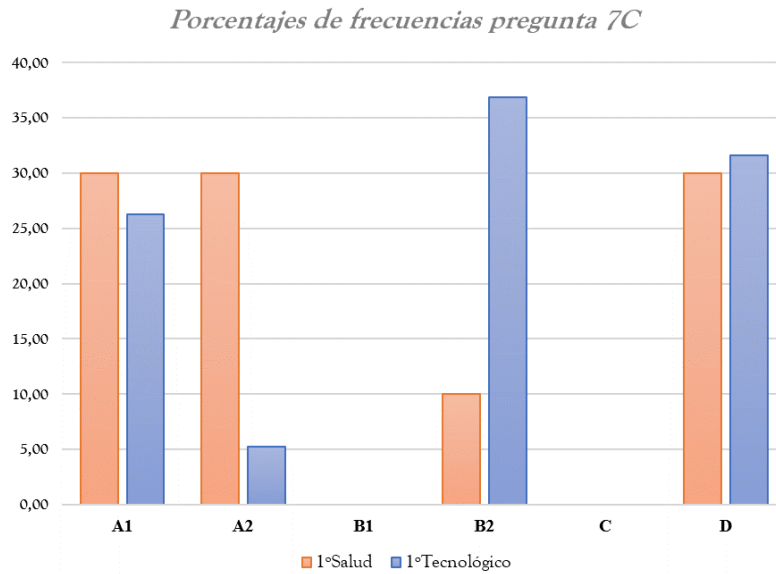
Aunque no hay diferencia significativa porque el porcentaje de respuestas correctas es igual en ambas clases, sí que se puede observar que, aunque en ningún caso reconocen bien la relación entre temperatura y energía, en el grupo tecnológico justifican sus respuestas con el intercambio energético, como es la tendencia general, pero en el grupo de salud esto se encuentra a la par de la dependencia con la presión.



Pregunta 7

La comparativa en este caso deja al descubierto una diferencia casi significativa para la afirmación A ($p=0,0728$ (EC. 3)) así como en la afirmación C ($p=0,0548$ (EC. 3)). En ambos casos es el grupo de ciencias de la salud el que se muestra más acertado en la respuesta, si bien es cierto que en gran medida debido a las respuestas sin justificar. Una posible explicación podría ser que la profesora que imparte en el grupo de ciencias de la salud hubiera hecho más hincapié sobre estos términos de sistemas y paredes que la profesora del grupo de tecnológico.





Resumen de diferencias destacables en la comparativa entre centros

A modo de resumen de las diferencias más importantes de las comentadas en este apartado se puede ver en la **TABLA 19** los valores obtenidos a partir de Fisher (**EC. 3**).

*Tabla 19. Recopilación de las diferencias más destacables en la comparación de las respuestas por grupos.
* diferencia significativa, $0,01 < p < 0,05$; ** diferencia muy significativa, $p < 0,01$*

Pregunta	Grupos comparados	Valor de p
5	1º Ciencias de la salud – 1º Ciencias tecnológicas	* $p=0,0471$
7A		$p=0,0728$
7C		$p=0,0548$

7. Conclusiones

Cada una de las preguntas del cuestionario y su correspondiente análisis de resultados ha aportado información relevante que contribuye a la consecución de los objetivos que se planteaban inicialmente para este trabajo. Estas son las principales conclusiones extraídas:

- i. La categorización de las preguntas a través de la fenomenografía ha resultado ser eficaz y válida, aportando unos buenos datos del parámetro comparativo $kappa$, como se muestra en la **TABLA 5**. Es de esperar que la categorización sea útil para futuras aplicaciones del cuestionario en investigaciones que involucren otras universidades o grupos de investigación, dado que esa es la línea de investigación en la que se va a seguir trabajando.
- ii. En cuanto a la relación que se establece entre algunas de las variables estudiadas:
 - Queda claro por los resultados que persiste la confusión calor y temperatura, incluso a través de las etapas educativas, visible en el análisis de **PREGUNTA 1**.
 - La relación temperatura y energía no está definida claramente en la mente de los estudiantes en ninguna de las etapas educativas estudiadas, como se ve en la **PREGUNTA 5** y en la **PREGUNTA 6**, si bien sí hay cierta noción general y tiene más incidencia entre los alumnos universitarios que en los de bachillerato, como cabría esperar.
- iii. Se corrobora también con los resultados que los estudiantes **no son capaces de dar importancia al Primer Principio, quedando** su uso por tanto muy limitado. Así queda **relegado** a un segundo puesto **frente** a otras explicaciones, en función del fenómeno que se describa. Por ejemplo, en la **PREGUNTA 1** la **fricción** se muestra como una explicación más plausible para los estudiantes, quedando además claro que a lo largo de las etapas educativas se acentúa como principal justificante. En otras cuestiones como la **PREGUNTA 2** la justificación que toma fuerza es la **teoría cinético molecular** principalmente para los alumnos de bachillerato y la ley de los gases para los alumnos universitarios. En el caso de bachillerato se entiende esta tendencia hacia la teoría cinético molecular pues son conceptos que han trabajado de manera extensa en cursos anteriores y están más arraigados que el Primer Principio que han dado por primera vez en el actual curso. También queda relegado el Primer Principio frente a la

relación presión-temperatura en el caso de la **PREGUNTA 8**, quizá ligeramente menos en los alumnos universitarios, pero no significativamente.

En algunos enunciados parece que se propicia más el uso de este Primer Principio, como ocurre en la **PREGUNTA 4** en la cual encontramos un uso ligeramente superior al de otras preguntas, especialmente por parte de los alumnos universitarios.

- iv. En cuanto a si los modelos son predominantemente macroscópicos o microscópicos el análisis de la **PREGUNTA 3** revela que los microscópicos prevalecen, quizá el planteamiento de la cuestión ha orientado más a los estudiantes en una dirección concreta, si bien es cierto que tampoco una gran cantidad de estudiantes ha sabido responder a esta pregunta.
- v. En cuanto a conceptos relacionados con la Termodinámica, explorados con la **PREGUNTA 7**, lo que se puede concluir es que características como sistema cerrado o sistema adiabático parecen ser que resulten más conocidas por los alumnos universitarios en contraposición con los de bachillerato, lo cual es lógico porque los alumnos en estadios universitarios han tenido más oportunidades para ahondar en los términos; el término isocórico sin embargo aparece como más conflictivo en todos los alumnos. Sorprende que la afirmación B haya causado tanta problemática, y para futuras investigaciones sería conveniente ahondar en si el error puede recaer en la formulación de la afirmación o sencillamente que los estudiantes no se paran a pensar en la diferencia entre “forma” y “transferencia” de energía.
- vi. Se han hecho otros análisis, como la comparativa entre centros y entre grupos, pero sus resultados no podemos decir que sean del todo relevantes por el pequeño número de respuestas. Algunas de las tendencias que parecen advertirse sería necesario comprobarlas o matizarlas a partir de un aumento de tamaño muestral que aumente la confianza de los datos obtenidos.

7.1 Futuras consideraciones

- Es necesario un aumento del tamaño muestral que permita obtener unas diferencias significativas más exactas así como corroborar las conclusiones que se han extraído en el presente análisis de datos, además de incorporar otras variables de comparación como puedan ser la comunidad autónoma en la que se estudie, debido a las diferencias en el currículo, o la variable del sexo.
- También hay que tener en cuenta que la elección de realizar preguntas de respuesta abierta ha sido premeditada y consensuada, ya que nos parece la mejor opción para llevar a cabo este tipo de análisis, pero es cierto que introduce más ruido en las respuestas que por ejemplo un test de respuesta cerrada. Un mayor número de respuestas puede confirmar o ayudar a matizar la categorización propuesta y los análisis estadísticos.
- De cara a usar los resultados para la mejora docente se han encontrado múltiples referencias en artículos que podrían ser tenidas en cuenta. La asignatura debe sin duda presentarse como un conocimiento accesible, quizá incluso partiendo de las expectativas que los alumnos tienen respecto a su aprendizaje y no basado en la complejidad que entraña desde el principio (O'Connell, 2019). Además hay varios estudios que han detallado como las metodologías tradicionales a menudo son las que fallan a la hora de abordar la Termodinámica (Brown & Singh, 2021; Thomaz et al., 1995), y es por ello que se buscan alternativas como tutoriales interactivos que ayuden a comprender mejor los conceptos macroscópicos y microscópicos (Kautz, Heron, Loverude, et al., 2005; Kautz, Heron, Shaffer, et al., 2005), o metodologías de aprendizaje activo como las ILDs (“Interactive Lecture Demonstration” (Georgiou & Sharma, 2015) que ya han demostrado Buena acogida en niveles universitarios.

8. Bibliografía

- Brown, B., & Singh, C. (2021). Development and validation of a conceptual survey instrument to evaluate students' understanding of thermodynamics. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 010104 (17). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010104>
- Budiarti, I. S., Suparmi, Sarwanto, & Harjana. (2017). Students' conceptual understanding consistency of heat and temperature. *Journal of Physics: Conference Series*, 795, 012051 (5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/795/1/012051>
- Campos, E., Hernandez, E., Barniol, P., & Zavala, G. (2021). Phenomenographic analysis and comparison of students' conceptual understanding of electric and magnetic fields and the principle of superposition. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020117 (17). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020117>
- Carlton, K. (2000). Teaching about heat and temperature. *Physics Education*, 35(2), 101–105.
- Chang, W. (2011). Teaching the First Law of Thermodynamics via Real-Life Examples. *The Physics Teacher*, 49(4), 231–233. <https://doi.org/10.1119/1.3566034>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Fisher, R. A. (1922). On the Interpretation of χ^2 from Contingency Tables, and the Calculation of P. *Journal of the Royal Statistical Society*, 85(1), 87–94. <https://doi.org/10.2307/2340521>
- Furió-Gómez, C., Solbes, J., & Furió-Mas, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 4(3), 461–475. https://doi.org/10.25267/rev_eureka_ensen_divulg_cienc.2007.v4.i3.05
- Furió Gómez, C., & Furió Más, C. (2016). Dificultades conceptuales y epistemológicas de futuros profesores de Física y Química en las explicaciones energéticas de fenómenos físicos y químicos. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 34(3), 7–24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1644>
- Georgiou, H., & Sharma, M. D. (2015). Does using active learning in thermodynamics lectures improve students' conceptual understanding and learning experiences? *European Journal of Physics*, 36(1), 015020 (13). <https://doi.org/10.1088/0143-0807/36/1/015020>
- Guisasola Aranzabal, J., Ametller, J., & Zuza, K. (2021). Investigación basada en el diseño de Secuencias de Enseñanza-Aprendizaje: una línea de investigación emergente en Enseñanza de las Ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 18(1), 1801 (1-18). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1801
- Gwet, K. (2002). *Inter-Rater Reliability: Dependency on Trait Prevalence and Marginal Homogeneity*. 2, 1–9.
- Haddad, W. (2017). Thermodynamics: The Unique Universal Science. *Entropy*, 19(11), 621 (70). <https://doi.org/10.3390/e19110621>
- Jewett, J. W. (2008). Energy and the Confused Student III: Language. *The Physics Teacher*, 46(3), 149–153. <https://doi.org/10.1119/1.2840978>
- Kautz, C. H., Heron, P. R. L., Loverude, M. E., & McDermott, L. C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part I: A macroscopic perspective. *American Journal of Physics*, 73(11), 1055–1063. <https://doi.org/10.1119/1.2049286>
- Kautz, C. H., Heron, P. R. L., Shaffer, P. S., & McDermott, L. C. (2005). Student understanding of the ideal gas law, Part II: A microscopic perspective. *American Journal of Physics*, 73(11), 1064–

1071. <https://doi.org/10.1119/1.2060715>

- Leturiondo Uriona, G. (2022). Estudio de la eficacia de una secuencia de enseñanza- aprendizaje basada en la investigación : las leyes de Newton para primero de Bachillerato. *Trabajo de Fin de Máster - Universidad Internacional de Valencia*.
- Loverude, M. E., Kautz, C. H., & Heron, P. R. L. (2002). Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. *American Journal of Physics*, 70(2), 137–148. <https://doi.org/10.1119/1.1417532>
- Marton, F. (1986). Phenomenography—A Research Approach to Investigating Different Understandings of Reality. *Journal of Thought*, 21(3), 28–49. <http://www.jstor.org/stable/42589189>
- Meltzer, D. E. (2004). Investigation of students’ reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. *American Journal of Physics*, 72(11), 1432–1446. <https://doi.org/10.1119/1.1789161>
- Newburgh, R., & Leff, H. S. (2011). The Mayer-Joule Principle: The Foundation of the First Law of Thermodynamics. *The Physics Teacher*, 49(8), 484–487. <https://doi.org/10.1119/1.3651729>
- Nugraha, D. A., Suparmi, A., Winarni, R., & Suciati. (2017). Students’ profile of heat and temperature using HTCE in undergraduate physics. *Journal of Physics: Conference Series*, 909(1), 012059 (6). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/909/1/012059>
- O’Connell, J. P. (2019). Challenges to Learning and Teaching Thermodynamics. *Chemical Engineering Education*, 53(1), 2–9. <https://journals.flvc.org/cee/article/view/107753>
- Richardson, J. T. E. (1999). The Concepts and Methods of Phenomenographic Research. *Review of Educational Research*, 69(1), 53–82. <https://doi.org/10.3102/00346543069001053>
- Romer, R. H. (2001). Heat is not a noun. *American Journal of Physics*, 69(2), 107–109. <https://doi.org/10.1119/1.1341254>
- Rozier, S., & Viennot, L. (1991). Students’ reasonings in thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 13(2), 159–170. <https://doi.org/10.1080/0950069910130203>
- Tarsitani, C., & Vicentini, M. (1996). Scientific mental representations of Thermodynamics. *Science & Education*, 5(1), 51–68. <https://doi.org/10.1007/BF00426440>
- Thomaz, M. F., Malaquias, I. M., Valente, M. C., & Antunes, M. J. (1995). An attempt to overcome alternative conceptions related to heat and temperature. *Physics Education*, 30(1), 19–26. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/30/1/004>
- Viera, A. J., & Garrett, J. M. (2005). Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. *Family Medicine*, 37(5), 360–363. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15883903/>
- Woldamanuel, M. M., Atagana, H., & Engida, T. (2015). Chemical Science Review and Letters Students’ conceptual Difficulties in Thermodynamic. *Chem Sci Rev Lett*, 4(13), 299–309.
- Zamorano, R. O., Gibbs, H. M., Moro, L. E., & Viau, J. E. (2006). Evaluación de un modelo didáctico analógico para el aprendizaje de energía interna y temperatura. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 3(3), 392–408.
- Zemansky, M. W. (1970). The Use and Misuse of the Word “Heat” in Physics Teaching. *The Physics Teacher*, 8(6), 295–300. <https://doi.org/10.1119/1.2351512>

Orden EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula su implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la comunidad de castilla y león. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86(8 de mayo de 2015), 32051–32480. <http://www.educa.jcyl.es/es/resumenbocyl/orden-edu-362-2015-4-mayo-establece-curriculo-regula-implan.ficheros/549394-BOCYL-D-08052015-4.pdf>

Orden EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. (2015). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 86(8 de mayo de 2015), 32123–32124. <http://www.educa.jcyl.es/es/resumenbocyl/orden-edu-363-2015-4-mayo-establece-curriculo-regula-implan.ficheros/549395-BOCYL-D-08052015-5.pdf>

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. (2015). *Boletín Oficial Del Estado*, 169–546.

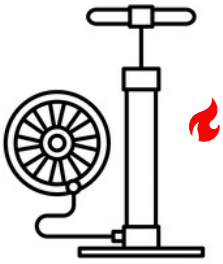
9. Anexos

Anexo I. Cuestionario realizado

CUESTIONARIO TERMODINÁMICA – TFM 2021-2022

PREGUNTA 1

Comente brevemente la siguiente descripción de un fenómeno físico que hace un joven alumno:

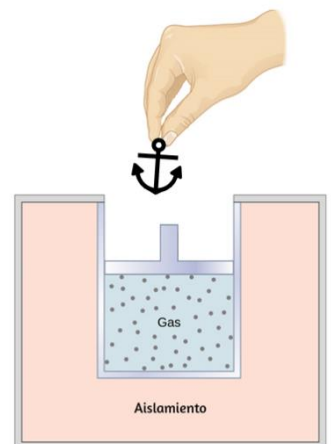


“Cuando hincho una rueda de la bicicleta con la bomba de mano, observo que después de un cierto tiempo de estar dando aire aumenta el calor del cilindro de la bomba”.

PREGUNTA 2

Se tiene un gas dentro de un émbolo aislado térmicamente del exterior que lo rodea. De repente se deja un gran peso sobre la tapa del émbolo que cae rápidamente como se indica en la figura. **Razone si aumenta o disminuye cada una de las siguientes:**

- Presión, P
- Volumen, V
- Temperatura, T^a , del gas



PREGUNTA 3

Se tiene una botella cerrada con agua en una habitación. El agua de la botella está en equilibrio térmico con el ambiente de la habitación. Ahora se echa parte del agua en un plato y se deja durante un tiempo. Se observa que el agua se evapora.

Señale qué pasa con la temperatura del agua que queda en el plato y razone la respuesta:

- a) Disminuye la temperatura
- b) Aumenta la temperatura
- c) La temperatura se mantiene constante

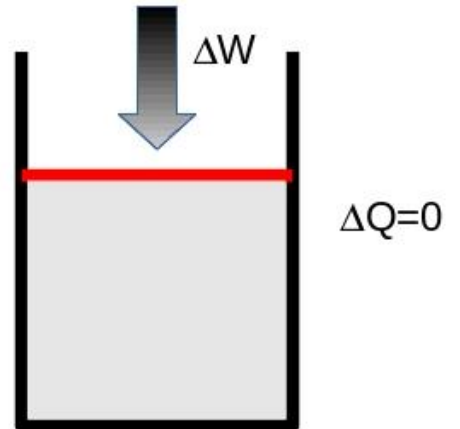
PREGUNTA 4

Se tiene un gas ideal en un émbolo. Se comprime el émbolo de manera que se mantiene la temperatura del gas constante. **Indique y razone cuál o cuáles respuestas son correctas:**

- a) No hay transferencia de calor del exterior al gas.
- b) No hay transferencia de calor del gas al exterior.
- c) Hay transferencia de calor del exterior al gas.
- d) Hay transferencia de calor del gas al exterior.
- e) Puede haber transferencia de calor entre el gas y el exterior en uno u otro sentido dependiendo de los valores de P y V.

PREGUNTA 5

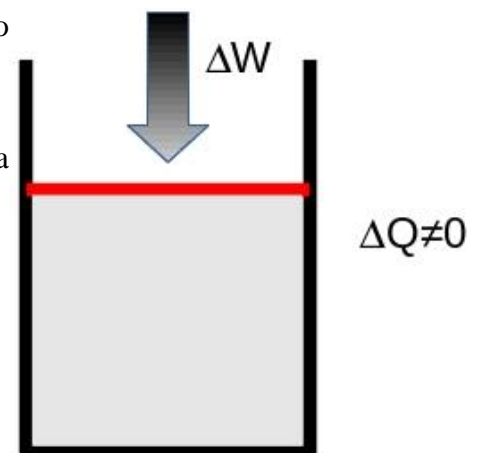
Se tiene un gas ideal dentro de un pistón que aísla el gas del exterior de manera que no puede haber transferencia de calor entre ambos. Se empuja el pistón realizando un trabajo como se indica en la figura. En esas condiciones, **señale**, de las opciones que se indican a continuación, **si alguna es cierta y razone la respuesta**:



- a) Aumenta la temperatura del gas
- b) Aumenta la energía interna del gas

PREGUNTA 6

Se tiene un gas ideal dentro de un pistón que permite el intercambio de calor entre el gas y el exterior. **Indique y razone**:



- a) Si puede ocurrir que la temperatura del gas se mantenga constante al comprimirlo
- b) Si la energía interna del gas puede mantenerse constante.

PREGUNTA 7

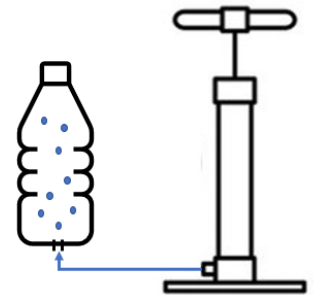
¿Son las siguientes afirmaciones verdaderas o falsas? Indica brevemente una justificación

- a) Un sistema cerrado puede intercambiar calor
- b) El calor y el trabajo son formas de energía
- c) Una pared adiabática deja pasar el calor
- d) Si nos encontramos con un proceso isocórico, el calor es función de estado

PREGUNTA 8

Se tiene una botella de plástico, cerrada con tapón de rosca, en la que queda algo de aire con vapor de agua en su interior. En ella se ha hecho un orificio por la base de la botella, y por él se conecta una bomba de mano que inyecta aire para aumentar la presión en el interior de la botella.

Cuando la presión en el interior ya es alta, se abre el tapón y se observa que el aire sale muy rápidamente del interior y se observa que alrededor de la boca de la botella se produce condensación de agua.



Trate de explicar por qué se produce esa condensación al abrir el tapón

Indica el nivel de dificultad que te ha parecido que tiene el cuestionario *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Facilísimo

Imposible

18

Del 0 al 10 ¿Cómo crees que te ha salido? *

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

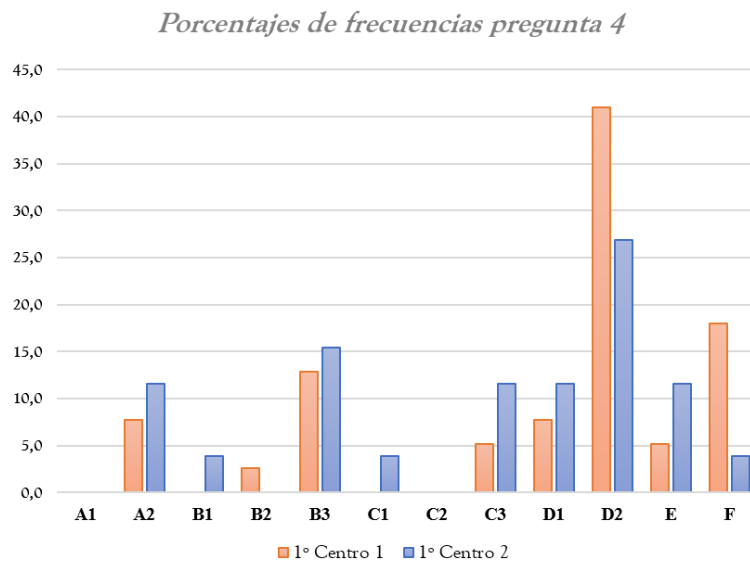
Para un 0

Perfecto

Anexo II. Comparativas no significativas entre los alumnos de 1º de Bachillerato de dos centros distintos.

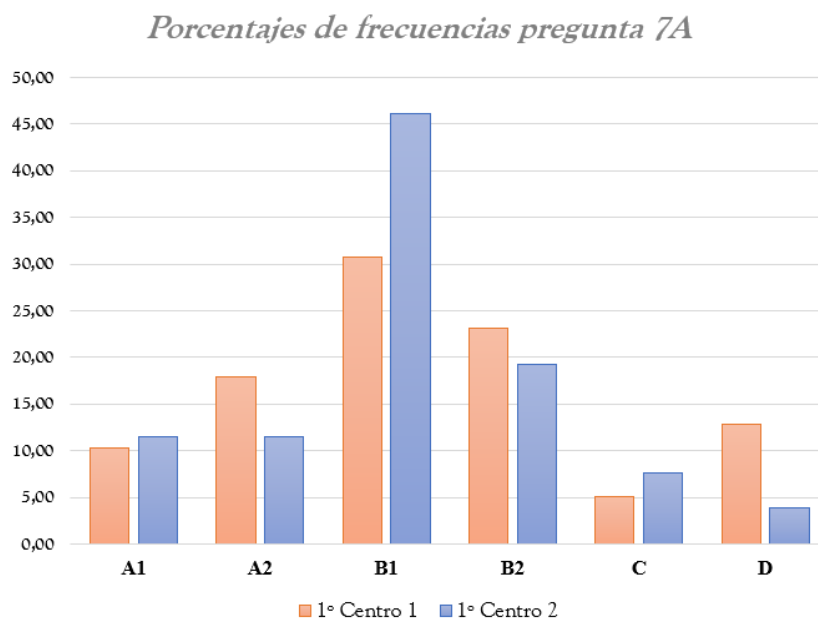
Pregunta 4

En esta pregunta los resultados son prácticamente idénticos, siendo mayoritaria la no justificación además de no distinguir calor y temperatura.

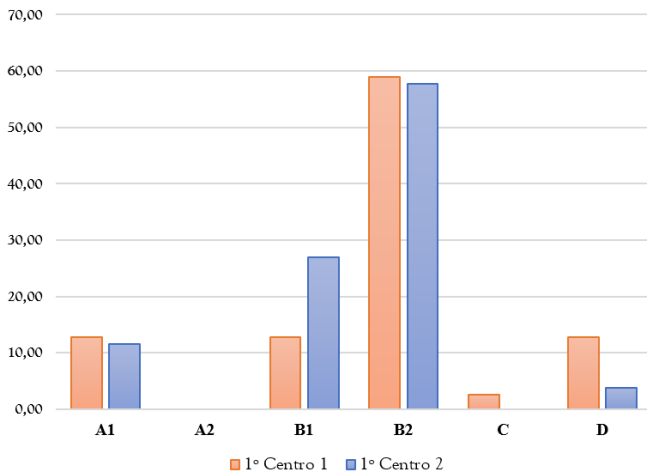


Pregunta 7

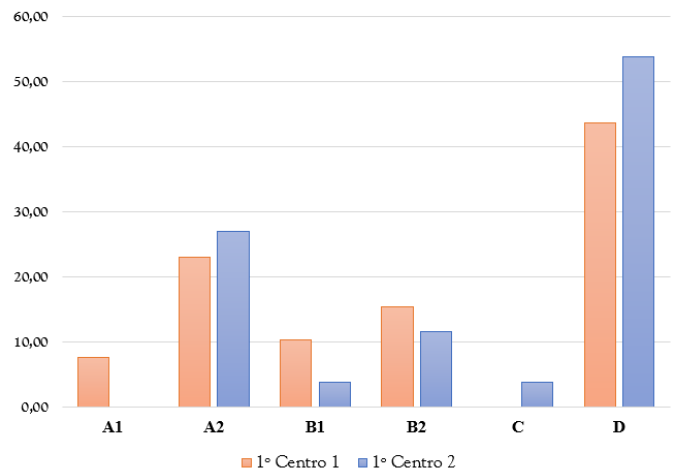
En las afirmaciones A,B y D no aparecen diferencias significativas entre los dos centros, manteniendo un ratio de respuestas correctas/incorrectas similar en ambos casos y con similar distribución por categorías, con lo cual se mantendría al conclusión general para este curso.



Porcentajes de frecuencias pregunta 7B



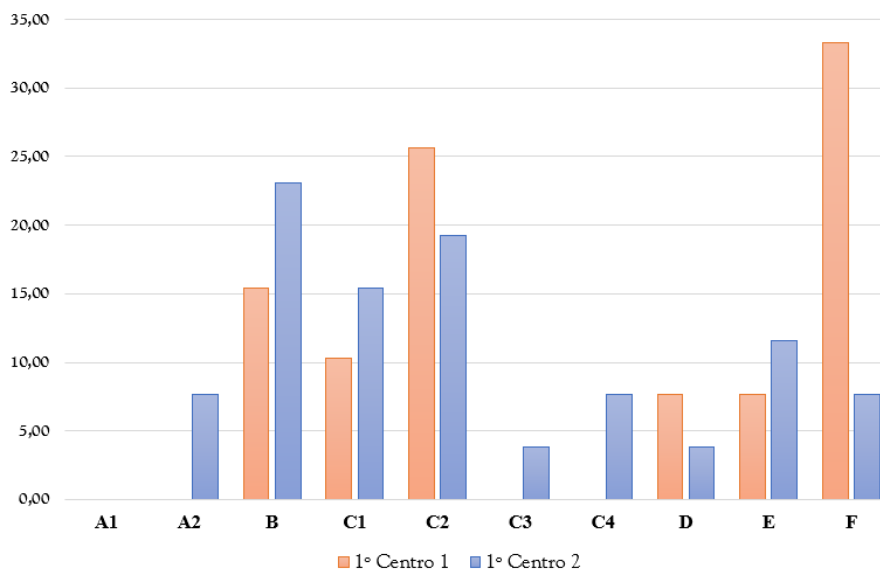
Porcentajes de frecuencias pregunta 7D



Pregunta 8

Al comparar los centros lo que se observa es diferencia en cuanto a que en el centro 1 muchos optan por no responder a la pregunta y en el centro 2 las frecuencias se muestran más repartidas entre todas las categorías, pero no son tendencias muy diferentes.

Porcentajes de frecuencias pregunta 8

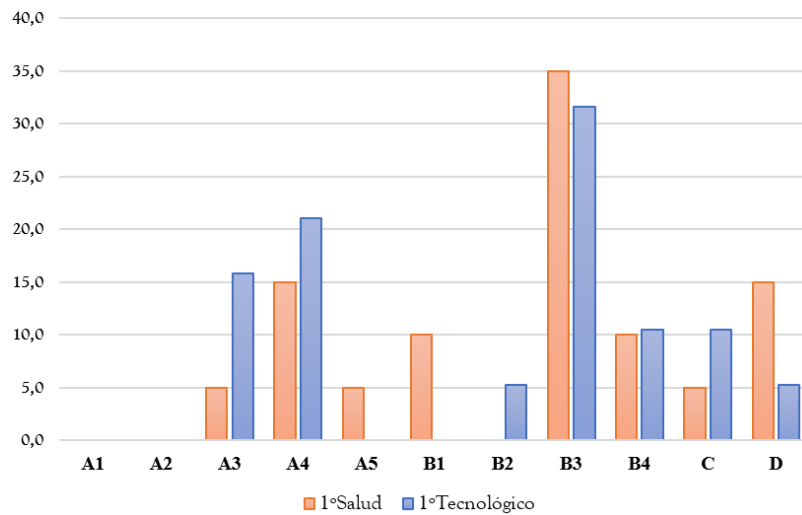


Anexo III. Comparativas no significativas entre alumnos de ciencias de la salud y ciencias tecnológicas del Centro 1.

PREGUNTA 1

No existen diferencias significativas entre ambas clases, impartidas por docentes diferentes. En ambos casos siguen la tendencia general y justifican a través de la fricción.

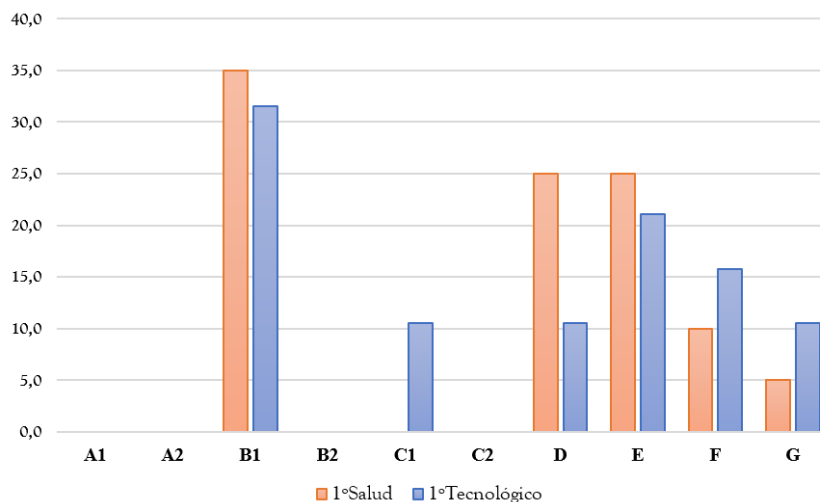
Porcentajes de frecuencias pregunta 1



Pregunta 3

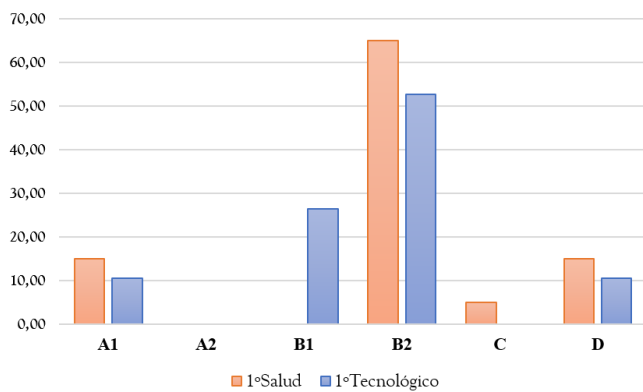
No existen diferencias significativas entre ambas clases, encontrando la mayor frecuencia en ambos casos en la justificación B1.

Porcentajes de frecuencias pregunta 3

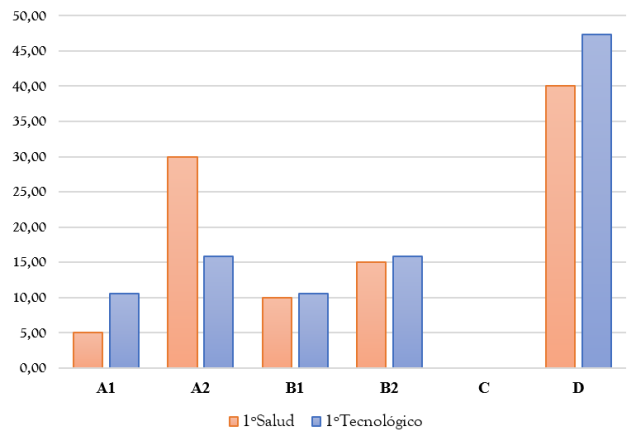


Pregunta 7

Porcentajes de frecuencias pregunta 7B



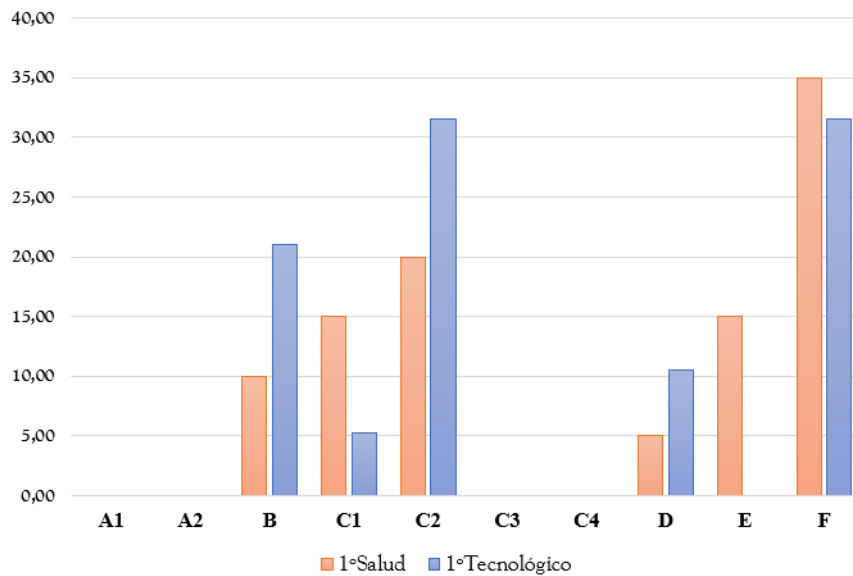
Porcentajes de frecuencias pregunta 7D



Pregunta 8

No se encuentran diferencias dado que se mantienen las mismas tendencias en ambos grupos, principalmente en no responder a la pregunta y en segundo lugar a justificar mediante la proporcionalidad presión-temperatura.

Porcentajes de frecuencias pregunta 8

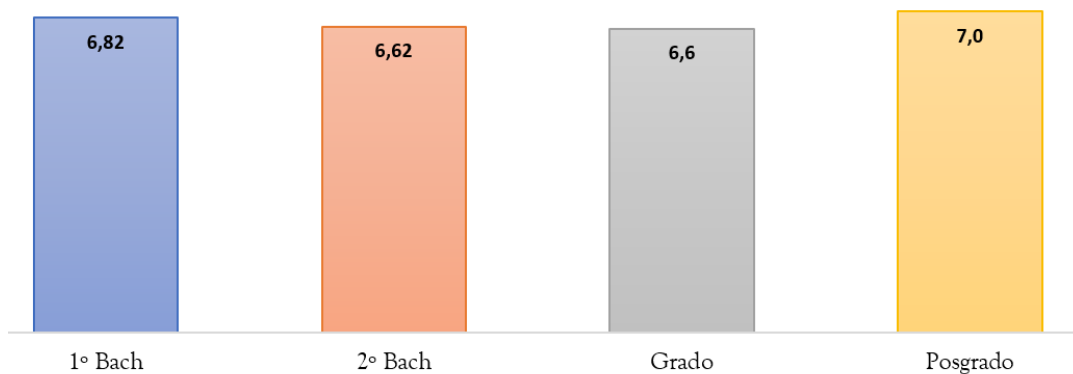


Anexo IV. Autopercepción de los conocimientos

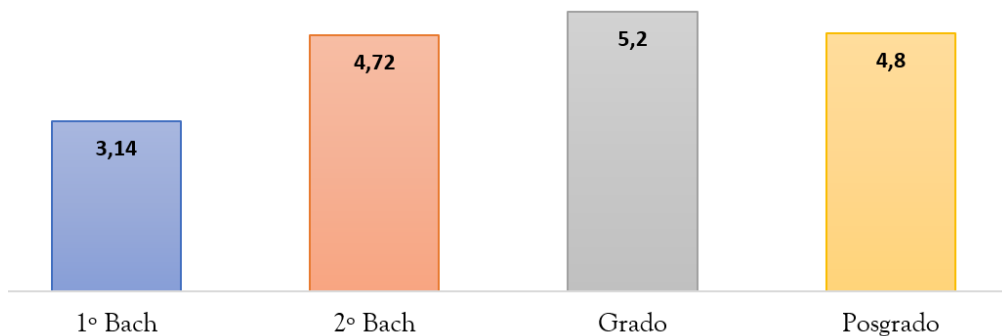
Como curiosidad para evaluar la confianza de los alumnos en sus conocimientos, en el cuestionario se incluye unas escalas finales en las que se pide a los alumnos que evalúen tanto la dificultad del cuestionario como la nota que considera que tienen sobre 10 en función de las respuestas que han dado a las preguntas planteadas. El objetivo de estos datos es realizar un análisis cualitativo sobre la percepción de los alumnos con respecto a los conocimientos adquiridos sobre la Termodinámica.

En cuanto a la dificultad promedio para cada grupo podemos observar que más o menos se mantiene entre el 6,5 y el 7. Esto concuerda con la nota promedio que estiman que han sacado, solo llegando al aprobado en el caso de los estudiantes de grado. El resto de grupos son conscientes de que sus respuestas no son demasiado adecuadas y por ello no esperan una nota muy alta.

Dificultad promedio

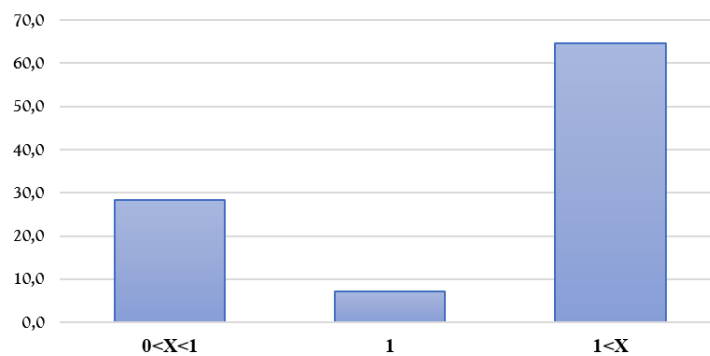


Autoevaluación promedio



Para conocer si estas estimaciones que han hecho los estudiantes sobre sus cuestionarios son certeras o no se ha asignado una calificación orientativa a cada una de las categorías presentes en las diferentes preguntas. De esta manera se ha obtenido para cada participante una nota estimada en función de las respuestas que ha realizado y se ha calculado un coeficiente de estimación, X , dividiendo la nota de la autoevaluación entre la nota calculada mediante la asignación de las categorías. Así se ha obtenido una distribución de estudiantes cuya auto percepción es baja, pues consideraban que tienen menos nota de la que han tenido ($0 < X < 1$), aquellos que han acertado de manera exacta ($X = 1$) y los que sobrestiman su respuesta al cuestionario ($X > 1$). Tal y como se puede ver en la gráfica la mayoría de los estudiantes, un 65%, se encuentran en esa última franja. Esta relación obtenida depende evidentemente de la puntuación establecida para cada una de las categorías, pero nos permite aproximar una conclusión general de que los alumnos creen saber más sobre los conceptos preguntados que lo que se puede observar a partir de sus respuestas al cuestionario.

Porcentajes de distribución de auto percepción



Al evaluar la respuesta por etapas se observa que curiosamente el mayor porcentaje de estudiantes de 2º de Bachillerato y de grado sobrestiman sus conocimientos, mientras que en 1º de Bachillerato y los estudiantes de posgrado las respuestas se reparten más.

Porcentajes de distribución de auto percepción por etapas

