

Algunos conceptos implícitos en la 1ª y la 2ª Leyes de la
Termodinámica: una aportación al estudio de las
dificultades de su aprendizaje.

Tesis doctoral de M^a Roser Pintó Casulleras

presentada al

Departamento de Físicas de la
Universidad Autónoma de Barcelona

Director : Prof. Paul Black
King's College
University of London

Tutor: Dr. David Jou Mirabent
Departamento de Físicas
Universidad Autónoma de Barcelona



Bellaterra, Noviembre 1991

5.21. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 8 (O-3B)

La cuestión 8 tiene tres apartados diferentes. El enunciado completo es:

- a) Cuando un coche llega al final de su trayecto nos preguntamos: qué ha ocurrido con la energía de la gasolina que se ha gastado?
- b) Si la técnica fuese mejor, ¿podríamos recuperar toda la energía? ¿por qué?
- c) ¿Podríamos recuperarla parcialmente? ¿por qué?

La cuestión ha sido planteada a 141 estudiantes de 1º Universidad (Biológicas), 100 estudiantes de 1º Universidad (Físicas) y 40 estudiantes de 3º de Físicas.

Se describe a continuación las respuestas y resultados referentes al primer apartado de la cuestión.

Las respuestas sobre qué ha sido de la energía de la gasolina que se ha gastado se han clasificado en 4 grandes grupos: V₁, V₂, V₃, V₄

V₁- Disipación. Transformación en energía interna/ "energía térmica"

V₂- Transformación. No es posible detectar si tienen presente la conservación de la energía

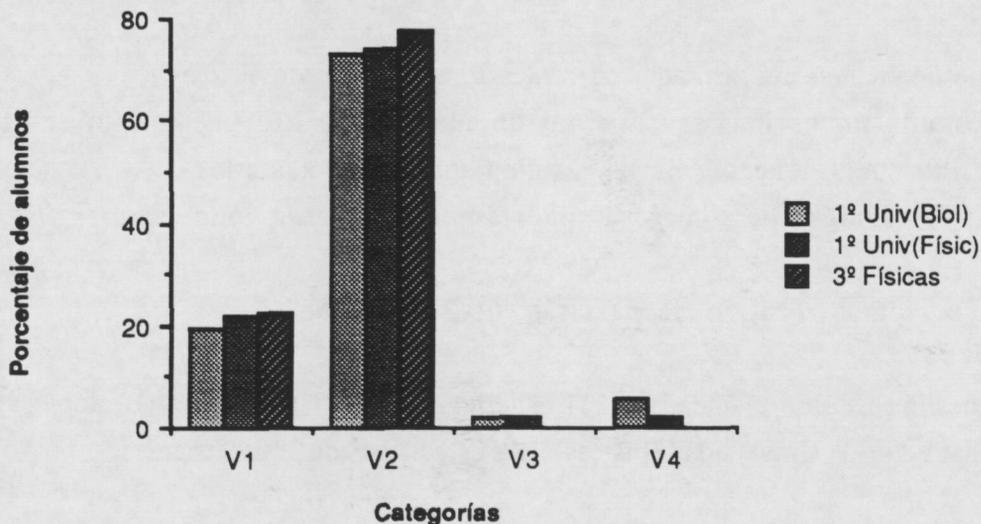
V₃- No conservación. Toda la energía se ha perdido/ consumido

V₄- Sin respuesta

La tabla de resultados es:

	1º Biológicas	1º Físicas	3º Físicas
V ₁	19.1%	22%	22.5%
V ₂	73.1%	74%	77.5%
V ₃	2.1%	2 %	0%
V ₄	5.7%	2%	0%

Diagrama para cuestión 8a (Q-3B), categorías generales, frecuencias en %



V₁ El primer gran grupo corresponde a los estudiantes que consideran que al final del trayecto, toda la energía del coche se ha transferido mediante calor, transformándose en energía interna del ambiente.

Los porcentajes son similares en los tres grupos aunque algo superior en 3º de Físicas. Respuestas incluidas en este grupo son, por ejemplo: *"Se ha convertido en calor y debe encontrarse formando parte del calor de la atmósfera y de la energía del Universo"* (1º Univ) *"La energía de la gasolina se ha disipado como calor debido a la fricción con el aire, con el suelo, fricción de las máquinas y fricción de los frenos. Se ha utilizado para aumentar la temperatura del mundo (muy poco)"* (3º Fís)

V₂ En el grupo **V₂** todas las respuestas hacen referencia a que la energía se ha transformado. Pero hay matices bastante distintos en este grupo y conviene subclasificar: La energía de la gasolina se ha:

Transformado en movimiento: **V₂₁**

Transformado en energía cinética: **V₂₂**

Transformado en energía cinética y en calor **V₂₃**

Transformado en trabajo: **V₂₄**

Transformado en trabajo y calor: **V₂₅**

Transformado en calor y en gases: **V₂₆**

Otros/ Ambiguo: **V₂₇**

En muchas de estas respuestas, la idea de conservación de la energía no está presente y con frecuencia hacen sospechar si los alumnos están pensando que la energía se ha destruido.

La comparación de resultados entre los tres grupos permite constatar la evolución:

	1º Biológicas	1º Físicas	3º Físicas
V ₂₁	13.5%	9%	5%
V ₂₂	6.4%	11%	10%
V ₂₃	12.8%	23%	20%
V ₂₄	15.6%	10%	2.5%
V ₂₅	13.5%	15%	32.5%
V ₂₆	5.7%	3%	0%
V ₂₇	5.7%	3%	7.5%

V₂₁- Es relativamente frecuente, especialmente en 1º Universidad (Biológicas), encontrar respuestas de los estudiantes diciendo que la energía se ha transformado en movimiento. Da la impresión que tales estudiantes no han adquirido el hábito de decir que la energía se ha transformado en energía o al menos en alguna magnitud como calor o trabajo (con frecuencia los consideran formas de energía). Considerar que la energía se ha transformado en movimiento es, quizá, el residuo de la idea infantil sobre energía. Diferentes estudios han demostrado que los niños relacionan con facilidad energía con movimiento. Estos estudiantes universitarios hacen lo mismo. Frases pertenecientes a este grupo: *"La energía se ha transformado en un movimiento que permite el desplazamiento del coche"* (1º Biol), *"La energía de la gasolina se ha gastado para mover el coche"* (1º Fis.) o *"Esta gasolina ha permitido llegar al final del trayecto"* (3º Fis).

V₂₂- Es el grupo en que *"La energía de la gasolina gastada se ha transformado en energía cinética cuando el coche ha finalizado su trayecto"*. Reflexionando sobre este tipo de respuestas, me pregunto ¿Piensan los estudiantes que el coche se para y por tanto algo ocurre a esta energía cinética? ¿se ha perdido?.

Los porcentajes son similares en los tres grupos de estudiantes, aunque un poco más elevados en los estudiantes de Físicas, quizás porque conocen mejor el vocabulario específico. Menos estudiantes en 1º de Biológicas dicen que la energía de la gasolina se ha transformado en energía cinética al final del trayecto (V₂₂) y sin embargo más dicen que se ha transformado en movimiento (V₂₁). Lo contrario ocurre en los estudiantes de Físicas (tanto en 1º como en 3º): menos estudiantes de Físicas dicen que al final del trayecto la energía de la gasolina se ha transformado en movimiento pero más dicen que se ha transformado en energía cinética. Si sumamos los porcentajes de V₂₁+ V₂₂ encontramos números similares en los tres grupos. (Ver la tabla anterior).

Frases de esta categoría son por ejemplo: *"La energía de la gasolina se ha transformado en energía cinética para mover el motor del coche"* (1º Biol), *"Se ha invertido en aumentar la energía cinética del coche"* (1º Fis) o *"Se ha transformado dando energía cinética al coche"*. (3º Fis).

V₂₃-Es el grupo de los estudiantes que consideran que la energía de la gasolina se ha convertido en energía cinética y en calor. Estos estudiantes "añaden el calor" como una manera de expresar la conservación de la energía pero tampoco se dan cuenta de que el coche está ya parado. ¿El movimiento ha hecho "desaparecer" la energía?

"Una parte se ha utilizado para producir el movimiento del coche y otra parte en calentar el motor en que se produce la combustión" (3º Fis) o *"La energía potencial química se ha invertido en dar energía cinética necesaria para mover el coche, en calentamientos y fricciones"* (3º Fis.).

V₂₄- Los estudiantes que consideran que la energía de la gasolina se ha transformado en trabajo pertenecen a este grupo V₂₄. Estos no piensan el trabajo como una manera de medir las transferencias de energía sino simplemente como una forma de energía. *"Se ha transformado en el trabajo hecho por el motor del coche"* (3º Fis.) o *"El motor del coche la ha usado para hacer el trabajo de mover el coche"* (1º Fis.).

Llegado este momento es necesario no olvidar que tales son las respuestas a la cuestión: ¿Qué podemos decir de la energía de la gasolina gastada al final del trayecto?

Son respuestas que revelan que hay estudiantes que piensan en el trabajo como una forma de gastar o perder energía.

Los mayores porcentajes corresponden a los estudiantes de 1º Biol. y los más bajos a los estudiantes de 3º Físicas.

El grupo V₂₅ corresponde a las respuestas en que se considera que toda la energía de la gasolina se ha transformado en trabajo y calor. Consideran que trabajo y calor son formas de energía y en ningún caso hacen referencia al primer principio de la Termodinámica. Si así fuera, podríamos pensar que están haciendo mención de los valores de estas dos magnitudes para sumarlos y obtener el aumento de energía interna que se ha producido en el entorno. Pero no es así, da la impresión más bien que trabajo y calor son dos sumideros de energía.

Veamos algunos ejemplos de alumnos de 3º de Físicas que son el grupo con mayor porcentaje en esta categoría: *"Se ha transformado en energía de diferentes tipos: trabajo mecánico, calor etc"* o bien *"Se ha invertido en el trabajo hecho para que el coche se mueva desde el origen hasta el final. Esta energía se ha transformado en un trabajo (parte de él se transformará en calor)"*.

Frases muy similares encontramos en 1º curso de Universidad: *"Aproximadamente un 60% se ha transformado en trabajo que hace mover el coche y un 40% en calor"* (1º Biol.) o *"Parte de ella se ha convertido en trabajo (su desplazamiento y la fuerza que ha vencido), parte se ha perdido en calor del motor, etc..."* (1º Fis.)

Más adelante veremos cuantos de estos estudiantes piensan que la energía puede recuperarse *"Si el trabajo ya está hecho no podemos utilizarlo de nuevo"*. En cualquier caso, lo que queda claro es que estos estudiantes conceptualizan el trabajo como una forma de energía, no como una forma de medir la energía transferida. Los porcentajes de estudiantes con este punto de vista no son despreciables: 13.5 % en 1º Biológicas, 15% en 1º Físicas y 32.5 % en 3º Físicas.

El siguiente grupo analizado es el V₂₆. Las respuestas son a primera vista sorprendentes pero similares a algunas que se han encontrado en otros estudios. Los estudiantes piensan que la energía de la gasolina se ha transformado en calor o trabajo y en gases (materiales procedentes de la combustión).

"Se ha liberado en forma de calor y gases absorbidos por el aire" (1º Biol) dice un estudiante y otro: *"Se ha transformado en calor y dióxido de carbono"* (1º Biol) o *"Se ha utilizado para dar movimiento al motor y se ha expulsado al exterior en forma de gases"* (1º Fis.).

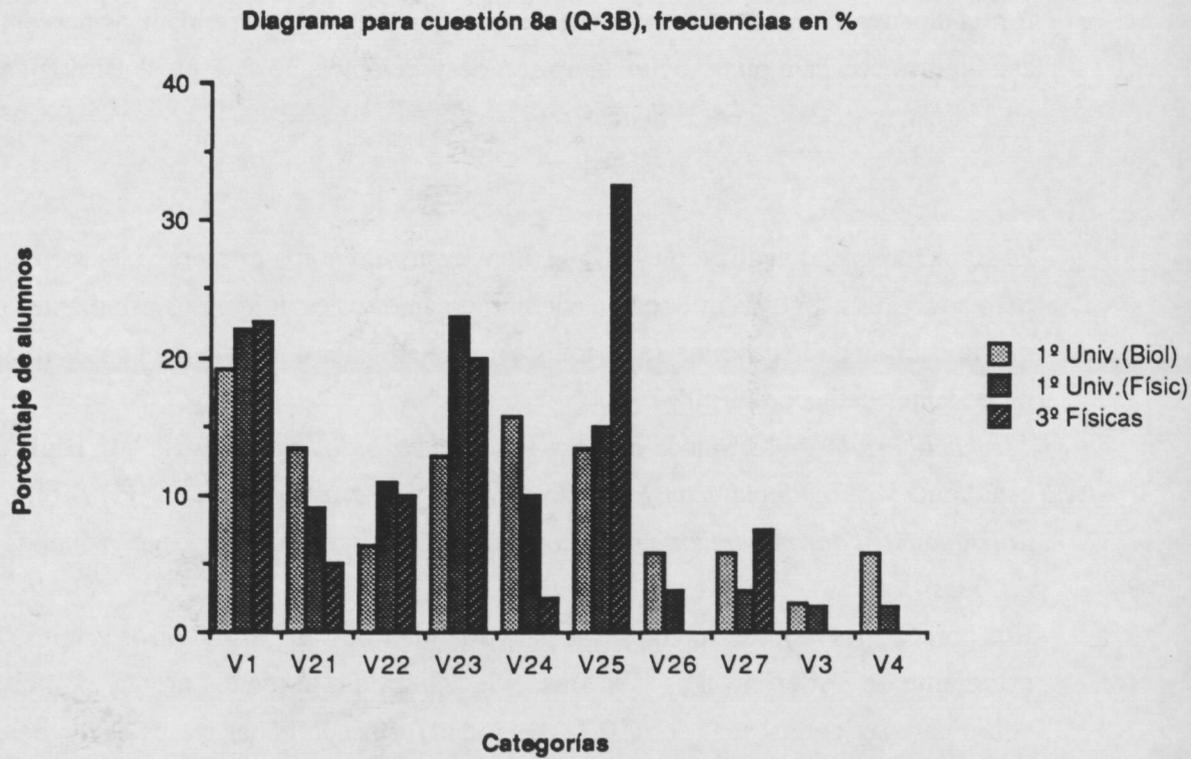
Los porcentajes de este tipo de respuestas son menores que los de otros grupos. Ningún estudiante de 3º de Física escribe frases de este tipo o al menos no tan explícitamente como para ser codificadas como V₂₆. De todas formas, algunas frases hacen pensar que quedan algunos residuos de esta mezcla entre materia y energía. Así por ejemplo, dado que la cuestión era sobre la energía de la gasolina, respuestas como las siguientes plantean el interrogante: *"Se ha quemado y se ha transformado en..."* o *"Se ha convertido en trabajo para mover el coche, quedando una parte como calor y otra parte del combustible se ha convertido en gas"* (el sujeto de la frase cambia a lo largo de ella).

En la categoría V₂₇ se han agrupado algunas respuestas ambiguas o raras.

V₃- Un pequeño número de estudiantes de los dos primeros cursos y ninguno de tercero consideran que la energía de la gasolina ya se ha consumido. Es la categoría V₃. Niegan explícitamente la conservación de la energía.

Con respecto a otras cuestiones encontramos un pequeño número de alumnos que no responden a la cuestión: categoría V₄ Parece ser que los estudiantes se sienten seguros de conocer la respuesta correcta a esta cuestión.

En la gráfica siguiente se muestran los porcentajes de los alumnos en todas las categorías y sub-categorías.



5.22. Descripción y análisis de las respuestas al apartado b) de la cuestión 8 (O-3B)

El enunciado de este apartado:

- b) Si la técnica fuese mejor, ¿podríamos recuperar toda la energía? ¿por qué?
 c) ¿Podríamos recuperarla parcialmente? ¿por qué?

Sigue refiriéndose a la energía de la gasolina que el coche ha gastado en su trayecto. Este apartado contiene dos preguntas. Las respuestas han sido codificadas de acuerdo con los argumentos dados a las dos preguntas en:

¿Recuperable totalmente?

Si: V'_1

Porque la energía nunca desaparece: V'_{11}

Con los métodos adecuados: V'_{12}

No: V'_2

No recuperable, ni parcialmente: V'_{21}

Sólo recuperable en parte porque:

Sin argumentos: V'_{220}

} V'_{22}

Ya se ha perdido energía como trabajo, movimiento etc: V'_{221}

Siempre hay disipación, pérdidas por calor V'_{222}

} V'_{23}

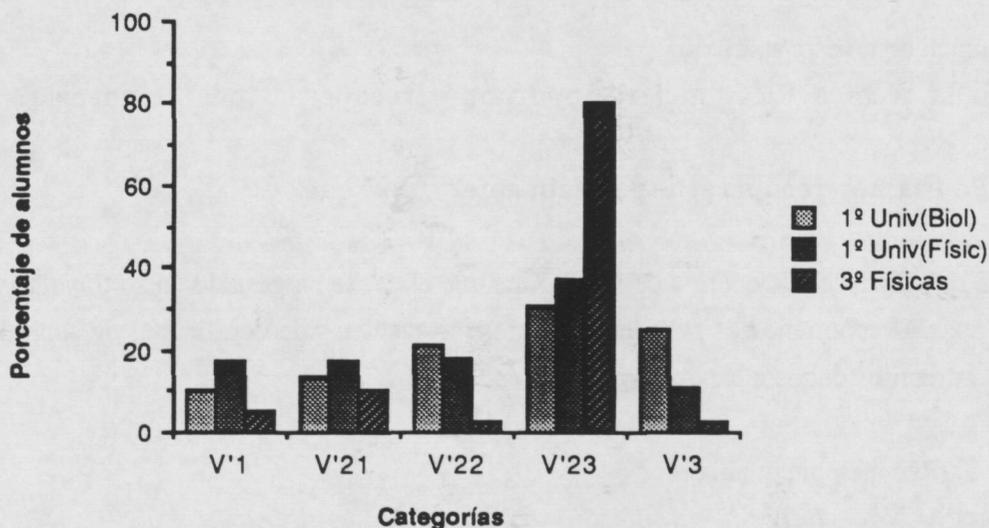
Explicación mediante la 2ª ley de la Termodinámica: V'_{223}

Sin respuesta: V'_3

Podemos observar la tabla y el diagrama de barras correspondientes a los resultados de los tres grupos:

	1º Biológicas	1º Físicas	3º Físicas
V'_{11} .	5%	3%	2.5%
V'_{12}	5%	14%	2.5%
V'_{21} .	13.5%	17%	10%
V'_{220} .	7.8%	1%	0%
V'_{221} .	13.5%	17%	2.5%
V'_{222}	28.4%	32%	20%
V'_{223}	2.1%	5%	60%
V'_3 .	24.8%	11%	2.5%

Diagrama para cuestión 8b (Q-3B), categorías mayores, frecuencias en %



El grupo V'1 considera que toda la energía del petróleo puede recuperarse. Dos son las líneas de argumentación en esta categoría: los estudiantes que apelan a la conservación de la energía "La energía nunca desaparece": V'11 y los que, desconociendo la 2ª ley, piensan ilimitadas las posibilidades que la tecnología puede ofrecer V'12. "Sí, porque la energía no puede ser creada ni destruirse" (1º Fis), "Si, porque la energía nunca se pierde" (1º Biol). Observando la tabla y comparando los resultados entre los grupos V'12 puede formularse una hipótesis: los estudiantes que tienen más confianza en las soluciones que la técnica puede proporcionar son los de 1º de Físicas. En este grupo encontramos respuestas como: "Si, podríamos recuperarla. Podríamos hacer que este coche comunicara toda su energía a otro mediante un choque en el que no se perdiera energía y por supuesto que no se modificara la estructura de los coches" (1º Fis), "Podríamos hacer circuitos cerrados pero es demasiado difícil y quizás no sería rentable" (1º Biol), "Toda la energía degenerada en calor, podría ser aprovechada para producir trabajos útiles" (1º Fis). Queda claro el desconocimiento del enunciado de Kelvin de la 2ª ley. Además podemos constatar, como en otros casos, que referirse a la disipación de la energía o a su degradación no implica suponer que es irrecuperable o que el proceso que da lugar a ello sea irreversible.

En total, el grupo V'1 que considera que toda la energía es recuperable representa un 10% de los estudiantes de 1º de Biológicas, un 17% de los estudiantes de 1º de Físicas y un 5% de los de 3º de Físicas.

Pasemos al grupo V'₂ que responde que la energía no es recuperable. Algunos piensan que no es recuperable ni completa ni parcialmente ni siquiera si la técnica se desarrollara. No es un grupo demasiado reducido para no tomarlo en consideración: 13.5% en 1^º Biológicas, un 17% en 1^º Físicas y un 10% en 3^º de Físicas.

V'₂₁ Algunos de éstos argumentan que la energía no puede recuperarse porque ya se ha consumido puesto que el coche ya se ha desplazado. Parece que en su mente se mezcla la gasolina con la energía que se le asocia. *"Es imposible recuperarla porque la energía de la gasolina se ha transformado en una energía mecánica que ha posibilitado ir de un punto A a otro B. Por lo tanto ya no queda energía de la gasolina"* (1^º Fis) *"La energía se ha usado para mover el coche. Cuando la energía se utiliza ya no se puede recuperar"* (1^º Fis) u otro utiliza un modelo como argumento *"si una manzana te la comes ya no puedes volver a comerla"* (1^º Fis).

Otros estudiantes del grupo basan su razonamiento en el hecho que la energía se ha transformado en calor y el calor es irrecuperable. Este argumento lo utilizan también los del grupo V'₂₂₂ pero estos últimos consideran que parte de la energía es recuperable y *"sólo la disipada como calor es irrecuperable"*.

Pasemos a describir los resultados del grupo de estudiantes que consideran que la energía es parcialmente recuperable.

Algunos (V'₂₂₀) no dan ningún argumento para apoyar su respuesta pero otros consideran que en parte ya no se puede recuperar porque ya se ha perdido.

V'₂₂₁- Varios de ellos piensan que la energía se ha transformado en trabajo y puesto que el trabajo ya se ha hecho, no podemos volver a obtener energía. Así encontramos respuestas como: *"No se puede recuperar la energía ya que se ha utilizado para realizar un trabajo y este trabajo ya no puede destruirse una vez hecho"*, *"No se puede recuperar la energía porque la gastamos en el movimiento"* (1^º Fis). Frases parecidas se observan en todos los niveles considerados aunque con menor frecuencia en 3^º de Físicas.

Algunos de estos estudiantes dicen que la única energía recuperable es el calor. *"La energía se ha transformado en calor. No se puede recuperar totalmente pues si no se perdiese no habría trabajo realizado y el coche no avanzaría. Parte de esta energía simplemente se disipa en el aire y se podría recuperar"* (1^º Fis).

No queda claro si siguen pensando que la energía se conserva después de mencionar tan frecuentemente "la energía perdida". Pero no disponemos de más información sobre cómo conciben la conservación. Ya hemos constatado que las preguntas directas no nos dan información de lo que realmente creen.

Frases como: *"Toda la energía no puede recuperarse porque el propio proceso técnico necesita energía para funcionar. Si disminuyéramos las pérdidas podríamos conseguir una mayor conservación"* o bien *"Esta energía ha sido gastada como trabajo y por tanto ha dejado de existir"* nos permiten corroborar que la conservación de la energía es para algunos sólo una entelequia útil para situaciones ideales.

Los porcentajes de respuestas de este tipo (13.5% y 17%) son parecidos en los dos cursos de 1º Universidad y desciende notablemente para 3º de Físicas.

V'₂₂₂- Se ha encontrado un grupo numeroso de respuestas en las que se considera que la energía es sólo parcialmente recuperable porque se ha disipado como calor. Creen que el calor es una forma tan degradada de energía que no puede utilizarse. Como ya hemos analizado en el capítulo 1, resulta problemático que se utilice la idea de calor como forma de energía y se mezclen los conceptos de calor y de energía interna. *"Siempre tendremos disipaciones por fricción, de manera que actos tan triviales como frenar suponen gastar energía que se transforma en calor el cual es irrecuperable"*. Muchas de las frases de este grupo son similares; argumentos sobre fricción, dispersión de la energía, inevitables pérdidas de calor, degradación de la energía o disipación de la energía son los más frecuentes.

En cualquier caso, la tan frecuente invocación a la disipación de la energía como calor cuando se les pregunta por su recuperación, sugiere que los estudiantes intuyen o conocen que la energía liberada al entorno se ha distribuido entre las moléculas del aire y este proceso tiene un único sentido. Pero en toda la muestra, de 281 estudiantes, uno solo hace referencia a esta interpretación (a pesar de que su lenguaje no es muy preciso) *"Se ha convertido en movimiento caótico microscópico de cada átomo individual...es imposible reorganizar el movimiento microscópico"* (1º Fís).

Un curioso aspecto a destacar: algunos diferencian energía transferida por fricción de calor mientras otros lo asimilan. Por ejemplo: *"No podemos recuperar toda la energía de la gasolina porque se ha perdido con fricciones y su recuperación es imposible. Sólo podemos recuperar la pérdida en forma de calor"* (1º Fís)

¿En qué están pensando al hacer distinciones entre "pérdidas de energía por rozamiento" y "pérdidas de calor"? Las primeras son irrecuperables mientras las segundas pueden recuperarse, dicen. Quizás por intuición, creen que la energía transferida por la fricción aumenta poco la temperatura del entorno con lo que el equilibrio térmico pronto se restablece. Mientras que cuando se refieren a "pérdidas de calor" quizás están suponiendo

temperaturas más elevadas con lo que es posible utilizar el salto térmico respecto al aire exterior para realizar trabajo. No son más que suposiciones, deberíamos contar con suplementarios métodos de estudio para aclarar este punto.

V'₂₂₃- Observando la tabla y el diagrama constatamos un significativo progreso de los estudiantes de 3º Físicas con respecto a los otros dos grupos en su respuesta a la presente cuestión 8. Un 60% de ellos responden a la cuestión aplicando explícitamente o no la 2ª ley de la Termodinámica. En cambio, los porcentajes obtenidos por los estudiantes de 1º son muy inferiores, como era lógico esperar. La imposibilidad de "*convertir todo el calor en trabajo*" es la explicación más usual.

Parecería lógico pensar que todos los estudiantes que invocan la 2ª ley para justificar la recuperación parcial de la energía habrían respondido a la primera parte de la cuestión diciendo que la energía se había transformado en calor. Podemos establecer las tablas de contingencia entre los resultados de la primera y la segunda parte de la cuestión. Podremos saber si existe correlación entre las respuestas V₁ i las V'₁. (códigos de las respuestas a la primera y segunda parte respectivamente).

Observed Frequency Table

	V' 2ª Ley	V' no 2ª Ley	Totals:
V ₁	7	2	9
V ₂₁ +...V ₂₆	17	14	31
Totals:	24	16	40

Observamos que de 24 estudiantes de 3º de Físicas que consideran que la 2ª ley ("imposibilidad de convertir todo el calor en trabajo" según ellos expresan) da respuesta a la segunda parte de la cuestión, sólo 7 habrían considerado que la energía se había transformado/disipado en calor. Es decir, de 24 estudiantes, 17 de ellos habrían respondido que la energía se había transformado en trabajo y calor (7 estudiantes) o en energía cinética y calor (3 estudiantes) o sólo en energía cinética (otros 3 estudiantes) o,

etc. De la simple observación de la tabla ya se infiere que no hay ningún tipo de relación significativa entre las respuestas a uno y otro aspecto de la cuestión.

Constatamos que la coherencia en los razonamientos se da en menos casos de los esperados o deseados.

Hay que tener presente que la segunda parte de esta cuestión (la posibilidad de recuperar o no toda la energía) es un tema propio de los cursos de Termodinámica. Esta es quizás la causa de que se dé este 60% de alumnos de 3º. que aplican la 2ª ley. En cambio, las transferencias o las transformaciones de energía ya no son temática para este alto nivel de estudios. Así observamos que los resultados a la primera parte de la cuestión tienen un porcentaje de aciertos (V_1) similar al de los cursos de 1º de Universidad.

5.23. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 9 (O-3B)

La cuestión tiene 4 apartados. Su enunciado completo es:

Imagina que das cuerda a un reloj.

- a) ¿Puedes decir que el reloj tiene energía?
- b) Todo el mundo sabe que mientras la cuerda se desenrosca, el reloj funciona. ¿Cómo es que exista tendencia a desenroscarse?
- c) Cuando el resorte se ha desenroscado completamente el reloj se para. ¿No podría por sí mismo volver a recuperar la cuerda? ¿Por qué?
- d) ¿Crees que esta cuestión tiene algo en común con alguna ley de la Termodinámica? Explícalo.

Comparemos los resultados obtenidos en cada uno de los apartados de la cuestión por dos grupos de estudiantes: 1º Universidad (Biológicas) y 3º Físicas

Apartado a):

Imagina que das cuerda a un reloj. ¿Puedes decir que el reloj tiene energía?

Las respuestas han sido codificadas como:

W₁- Sí, tiene energía

W₂- No, no tiene

W₃- Indeciso

W₄- Sin respuesta

Encontramos para cada grupo:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Si: W ₁	79.4%	97.5%
No: W ₂	6.4%	2.5%
Indeciso: W ₃	1.4%	0%
Sin respuesta: W ₄	12.8%	0%

Como era de esperar, la gran mayoría de estudiantes responden que el reloj tiene energía. Algunos responden negativamente dando como razón el que el reloj tiene sólo un movimiento mecánico.

Pero ante todo, esta parte de la cuestión pretendía conocer porqué piensan que el reloj tiene energía, es decir, cuál es su conceptualización sobre energía. Así pues, es necesario subclasificar las respuestas positivas:

Sí: W_1	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Energía dada por nosotros: W_{11}	22.1%	27.5%
Porque el reloj funciona: W_{12}	26.2%	22.5%
Porque tiene capacidad para hacer W: W_{13}	29.1%	25%
Sin explicación W_{14}	2.0%	22.5%

W_{11} - El reloj tiene energía porque se la hemos dado. Alguien le ha transferido energía desde el exterior. De nuevo encontramos la necesidad del agente externo para "hacerle responsable" de que se asocie energía a un objeto.

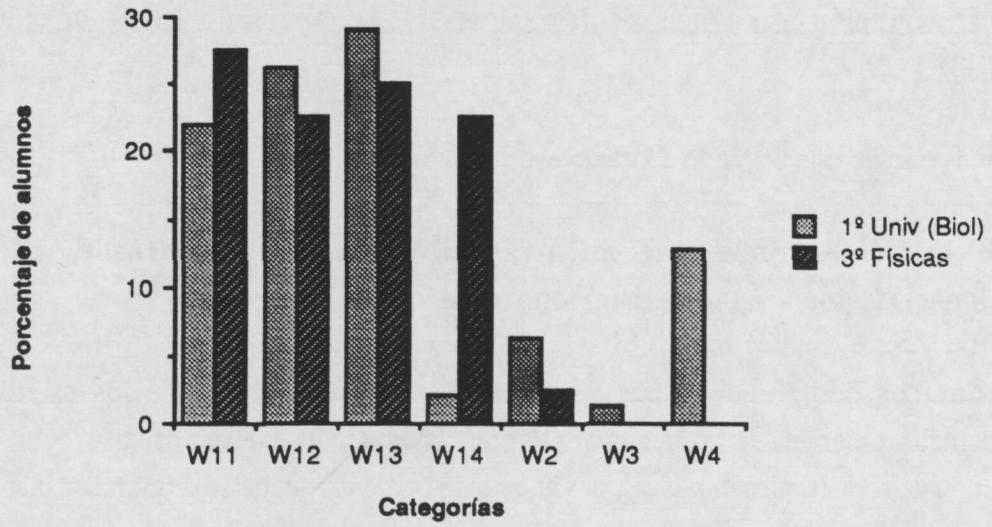
W_{12} - El reloj tiene energía porque funciona, sus agujas se mueven, es otro tipo de razonamiento. Para los alumnos de este grupo, podemos decir que algo tiene energía a partir de sus efectos (ya no hay agente externo en este caso)

W_{13} - El tercer grupo corresponde a los estudiantes que utilizan la estereotipada definición (Energía = Capacidad para realizar trabajo) para responder a la pregunta. El reloj tiene energía porque tiene capacidad para realizar trabajo.

W_{14} - Supongo que un buen número de estudiantes consideran innecesario explicar porque al reloj se le puede asignar energía ya que un 22.5% de los de 1º no dan razón de su respuesta.

El diagrama de barras nos permite visualizar la poca diferencia en los porcentajes de los grupos que responden positivamente a la cuestión:

Diagrama para cuestión 9a (Q-3B), frecuencias en %



5.24.Descripción y análisis de las respuestas al apartado b) de la cuestión 9 (O-3B)

El enunciado de este segundo apartado es:

Todo el mundo sabe que mientras la cuerda se desenrosca, el reloj funciona. ¿Cómo es que existe tendencia a desenroscarse?

Encontramos dos grandes tipos de respuestas. Algunas frases de los estudiantes responden propiamente a la pregunta: ¿Por qué la tendencia a desenroscarse?. Otras, por el contrario, son simples explicaciones acerca de como el muelle se desenrosca o sobre el porque creen que se desenrosca, no sobre el porque un muelle enroscado tiene tendencia a desenroscarse. Podemos preguntarnos, si una pregunta es clara, ¿por qué algunos estudiantes no la responden mientras otros sí lo hacen? ¿están eludiendo la pregunta? ¿no se sienten capaces de pensar por su cuenta de forma lógica sobre algo nuevo cuando están en una situación como la de estar respondiendo un cuestionario? ¿Pensar sobre tendencias requiere un grado de abstracción de la que todos no son capaces? Son preguntas abiertas que no sabemos por el momento contestar.

Las respuestas de los estudiantes de los dos niveles han sido codificadas según las siguientes categorías:

W''₁- si explican que el muelle se desenrosca porque tiene energía (5.7% en 1º y 5% en 3º)

W''₂- si su razonamiento es: el muelle ha recibido energía, trabajo o fuerza y la está devolviendo.

"Nosotros hemos aplicado una energía mecánica al enroscar, el reloj la devuelve poco a poco" (1º Univ)

W''₃- si explican que el muelle está transformando o consumiendo energía.

"Porque el reloj consume energía en cada vuelta que dan las agujas, entonces hay que recuperar esta energía dando cuerda al reloj". (1º Univ)

En total, el conjunto de estudiantes que propiamente no responden al porque de la tendencia del muelle a desenroscarse representa un 29.1% en 1º de Universidad (Biológicas) y un 15% en 3º de Físicas

	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
Respuestas en las que se explica porque o como el muelle se desenrosca		
Porque tiene energía W'' ₁	5.7%	5%
Porque está devolviendo energía, trabajo, fuerza : W'' ₂	11.3%	7.5%
Porque el muelle está transformando o consumiendo energía W'' ₃	12.1%	2.5%
Respuestas dando argumentos del porque de la tendencia a desenroscarse		
Tendencia debida a mecanismos del reloj: W'' ₄	14.2%	5%
Tendencia a recuperar su estado inicial de equilibrio: W'' ₅	18.4%	7.5%
Tendencia a la máxima estabilidad: W'' ₆	6.4%	5%
Tendencia a la mínima energía: W'' ₇	4.3%	55%
Tendencia a la máxima entropía o máximo desorden: W'' ₈	2.8	12.5%
Sin respuesta W'' ₉	24.8%	0%

El resto de estudiantes da respuesta al porque de esta tendencia a desenroscarse, si bien hay explicaciones basadas en razonamientos científicos mientras otras no son más que intuitivas.

W''₄- Este grupo piensa que tal tendencia es debida a las características mecánicas del muelle o del reloj. Necesita encontrar un objeto que sea el responsable de una tendencia *"Por la existencia de un mecanismo que obliga a seguir esta tendencia"* (1º Univ)

W''₅- El grupo da una explicación intuitiva y científicamente aceptable pero no utiliza términos o conceptos científicos. Las respuestas catalogadas en este grupo dicen que la tendencia a desenroscarse es la tendencia de los objetos a mantener su posición inicial. El razonamiento es el siguiente: los objetos están inicialmente en equilibrio, si lo alteramos (enroscando el muelle en este caso) intentan recuperar su posición inicial. *"Todo tiende a la postura inicial"* (1º Univ)

Es una respuesta más pensando en conceptos mecánicos que en termodinámicos.

Este es el mayor grupo de estudiantes de los de 1º de Universidad.

La búsqueda de la estabilidad es el argumento dado por el grupo W''₆.

Dicen por ejemplo: *"El sistema es inestable y evoluciona hasta que encuentra la estabilidad"* (1º Univ)

El mayor grupo en 3º es el W''₇. Es el grupo que considera que los sistemas evolucionan hasta conseguir su mínima energía. Es curioso que estos estudiantes a lo

largo de su curso de Termodinámica sigan pensando más en argumentos mecánicos que en termodinámicos.

"La energía de los mecanismos tiende a un mínimo, al desenroscarse cede la energía a la máquina para que funcione" (3º Fis)

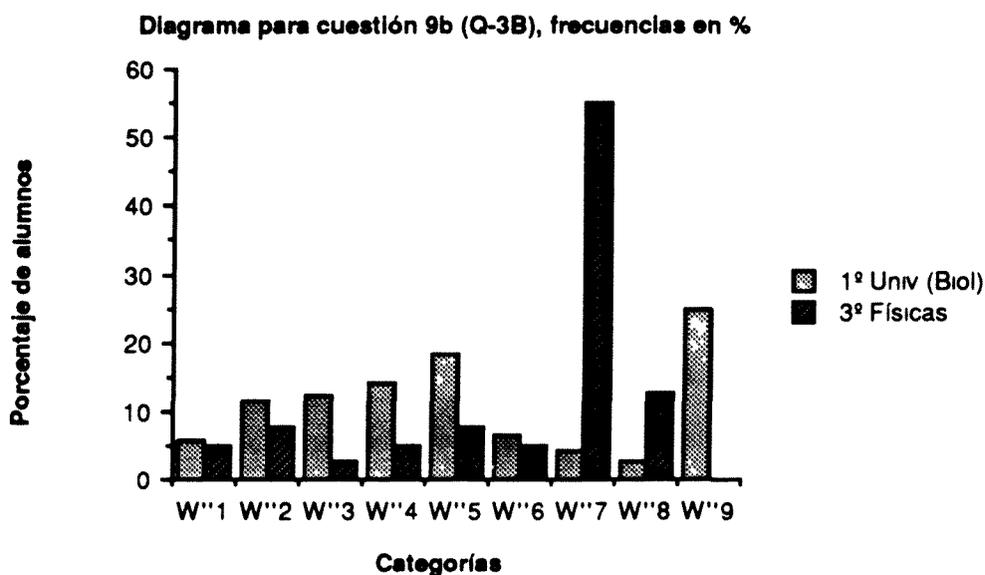
Representa un 55% de los estudiantes de 3º y sólo un 4.3% de los de 1º.

Los argumentos más científicos corresponden al grupo. W''₈ Apelan a la 2ª ley para justificar su respuesta. Así leemos: *"Porque la entropía del resorte ha de crecer en este proceso espontáneo, pues el resorte no estaba en equilibrio"* (3º Fís) *"Cada sistema evoluciona en el sentido que el desorden, la entropía aumenta, en el sentido que tiene más probabilidades"* (1º Univ)

Los porcentajes de respuestas en esta categoría son poco elevados: 12.5% en 3º y sólo un 2.8% en 1º.

W''₉- Todos los estudiantes de 3º dan alguna respuesta codificada en alguna de las anteriores categoría mientras que un 24.8% de 1º no responde; es un porcentaje de "sin respuestas" habitual en este curso.

El diagrama nos permite tener una rápida visión de conjunto:



5.25. Descripción y análisis de las respuestas al apartado c) de la cuestión 9 (O-3B)

Enunciado del tercer apartado de la cuestión:

Cuando el resorte se ha desenroscado completamente, el reloj se para. ¿No podría por sí mismo volver a recuperar la cuerda? ¿Cómo es?

Podemos comparar las respuestas dadas por los dos mismos grupos de estudiantes.

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
No	78.8%	100%
Si	2.1%	0%
Sin respuesta	19.1%	0%

Podemos observar que todos los estudiantes de 3º dan una respuesta negativa y un 78.8% de 1º también. El porcentaje de estudiantes de 1º que no responde a esta pregunta se mantiene en los mismos valores que en otras.

Es digno de señalar, a pesar del escaso número, que algunos estudiantes de 1º consideran que el muelle puede enroscarse por sí mismo. Todos ellos utilizan el principio de conservación de la energía para justificar su respuesta. A pesar de ser contradictorio con su experiencia, no disponen de argumento científico alguno para negar la reversibilidad.

Las respuestas más frecuentes son las negativas, pero debemos distinguir los argumentos que dan y establecer categorías:

	1ºUniv (Biol)	3º Físicas
W'1- Argumentos en términos mecánicos	21.3%	2.5%
W'2- Argumentos en términos de energía		
Transferencias de energía: W'21	45.4%	15%
Con aproximaciones a la 2ª ley: W'22	5%	37.5%
W'3- Argumentos en términos de 2ª ley	7.1%	45%

W'1- representa el grupo de estudiantes que justifican el que el muelle no pueda volver a enroscarse por sí mismo utilizando conceptos mecánicos: es necesario una fuerza, un trabajo, etc. Por ejemplo: *"No puede, es necesario hacer un trabajo sobre el muelle"*

Es un tipo de respuestas bastante frecuente en el grupo de 1º.

Una segunda categoría W'_{21} corresponde a las respuestas en que la imposibilidad del muelle para volver a enroscarse por sí mismo es justificada por transferencias o consumo de energía. Como muestra la tabla hemos hecho distinciones entre ellos:

W'_{211} - El muelle ha perdido toda la energía que tenía. (¿Piensan que perder energía equivale a desaparecer?). *"No, porque necesita aquello que ha perdido desenroscándose, que es la energía"*

W'_{212} - La energía ya se ha transformado en trabajo. (¿Piensan que el trabajo es una forma de energía?) *"La energía que le hablamos dado la ha transformado en trabajo que ha gastado"*. Aparece de nuevo la idea de trabajo como un sumidero de energía.

W'_{213} - Sería necesario una energía adicional: (¿Qué ha pasado con la energía proporcionada al dar cuerda al reloj?) *"No tiene energía para producir este trabajo, la energía hemos de dársela nosotros"*

Este grupo en total representa un 45.4% en 1º y un 15% en 3º.

Otros estudiantes se sirven también de la idea de transferencias de energía pero en su respuesta está implícita la 2ª ley aunque no la expresen claramente. Es el grupo W'_{22} :

Consideran que el muelle no puede volver a enroscarse por sí mismo porque está en su mínimo estado de energía (grupo W'_{221}) o porque se ha degradado y no puede transformarse en trabajo útil (grupo W'_{222}). Es decir, el grupo W'_{22} utiliza aproximaciones a la 2ª ley en términos de energía. Es un pequeño grupo en 1º pero bastante numeroso en 3º (37.5%)

Frases codificada como W'_{221} son:

"Porque se ha perdido parte de la energía en los rozamientos y además está en su estado de energía mínima, tendríamos que perturbarlo"

Codificadas como W'_{222} : *"La energía ha pasado a formas no recuperables (calor, ruido etc)"*

Este grupo W'_{22} parece estar en un estado intermedio, reflejan cierto conocimiento de la 2ª ley pero siguen utilizando las ideas de transformaciones o de transferencias de energía para sus explicaciones al igual que hacía el grupo anterior W'_{21} .

Finalmente encontramos el grupo W'_3 en que los estudiantes explicitan la 2ª ley para sus argumentos. Un 45% de estudiantes de 3º quedan incluidos en esta categoría y sólo un 7.1% de los de 1º.

A la vez este grupo está subclasificado de acuerdo con la versión de la 2ª ley que expliquen:

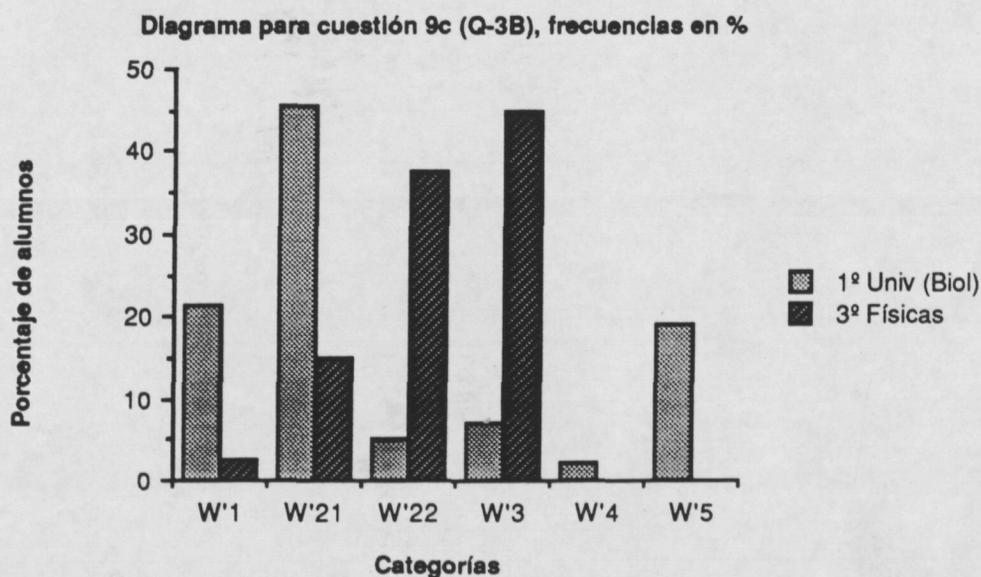
	1º Univ(Biol)	3º Físicas
-El muelle desenroscado tiene menor orden: W'_{30}	2.1%	2.5%
-Se ha alcanzado ya la situación de equilibrio: W'_{31}	4.3%	15%
-Imposible total transformación de Q en W: W'_{32}	0%	10%
-Es un proceso irreversible: W'_{33}	0.7%	10%
-La entropía debería aumentar: W'_{34}	0%	7.5%

Frases como:

"Implicaría un orden al que ningún sistema evoluciona jamás" (1º Univ) o *"No porque en ese proceso la entropía aumentaría y esto no es posible"*:(3º Fis) están incluidas en este grupo W'_3

Podemos resumir en una sola tabla los resultados obtenidos a la pregunta: ¿Cuando el resorte se ha desenroscado completamente el reloj se para. ¿No podría por si mismo volver a recuperar la cuerda? ¿Como es?

	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
No		
W'1. Argumentos en términos mecánicos	21.3%	2.5%
W'2. Argumentos en términos de energía		
Transferencias de energía: W'21	45.4%	15%
Ha perdido toda la energía que tenía: W'211		
La energía ya se ha transformado en trabajo: W'212		
Energía suplementaria sería necesaria: W'213		
Con aproximaciones a la 2ª ley: W'22	5%	37.5%
El sistema está ya en estado de mínima energía: W'221		
E. degradada no puede convertirse en W útil: W'222		
W'3. Argumentos en términos de alguna versión de la 2ª ley	7.1%	45%
El muelle desenroscado tiene menor orden: W'30		
Se ha alcanzado ya la situación de equilibrio: W'31		
Imposible total transformación de Q en W: W'32		
Es un proceso irreversible: W'33		
La entropía debería aumentar: W'34		
W'4. Sí	2.1%	0%
W'5. Sin respuesta	19.1%	0%



5.26. Descripción y análisis de las respuestas al apartado d) de la cuestión 9 (Q-3B)

En último lugar la cuestión preguntaba (de forma bastante incorrecta, por cierto):

¿Crees que esta cuestión tiene algo en común con alguna ley de la Termodinámica? Explicalo.

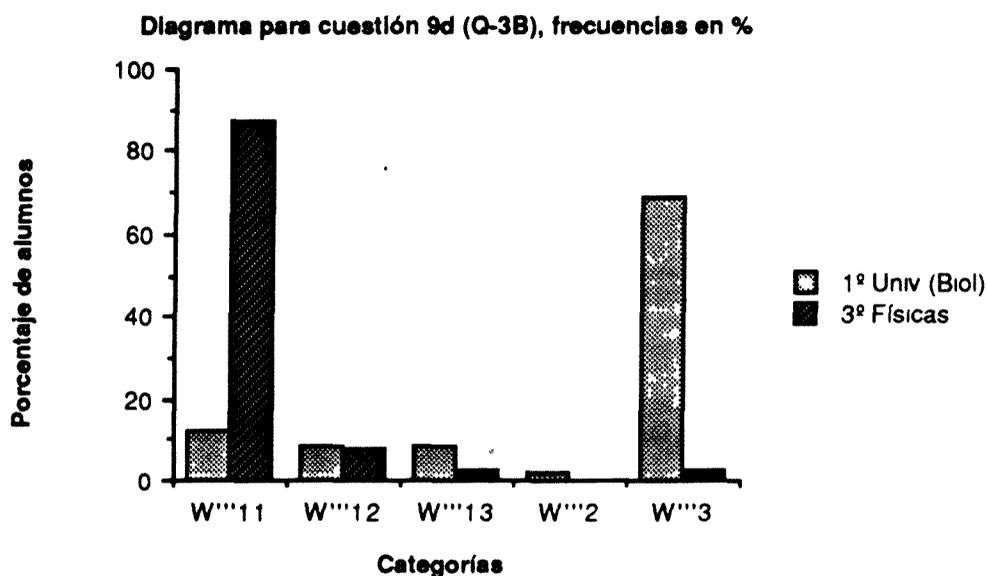
Estas son las respuestas:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Sí: W'''_1	29.1%	97.5%
No: W'''_2	2.1%	0%
Sin respuesta: W'''_3	68.8%	2.5%

Para los estudiantes de 3º la mayor frecuencia de respuestas corresponde a las positivas, como era de esperar. Para 1º Universidad son más los que no responden. En total, sólo tres estudiantes consideran que no tiene relación

Pero no todas las respuestas afirmativas asocian esta cuestión a la 2ª Ley:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Con la 2ª Ley: W'''_{11}	12.1%	87.5%
Con la 1ª Ley: W'''_{12}	8.5%	2.5%
Otras: W'''_{13}	8.5%	7.5%



Algunos consideran que la cuestión puede relacionarse con la 1ª ley, otros con leyes inexistentes o desconocidas ("Ley del tornillo" dice un estudiante de 1º Univ).

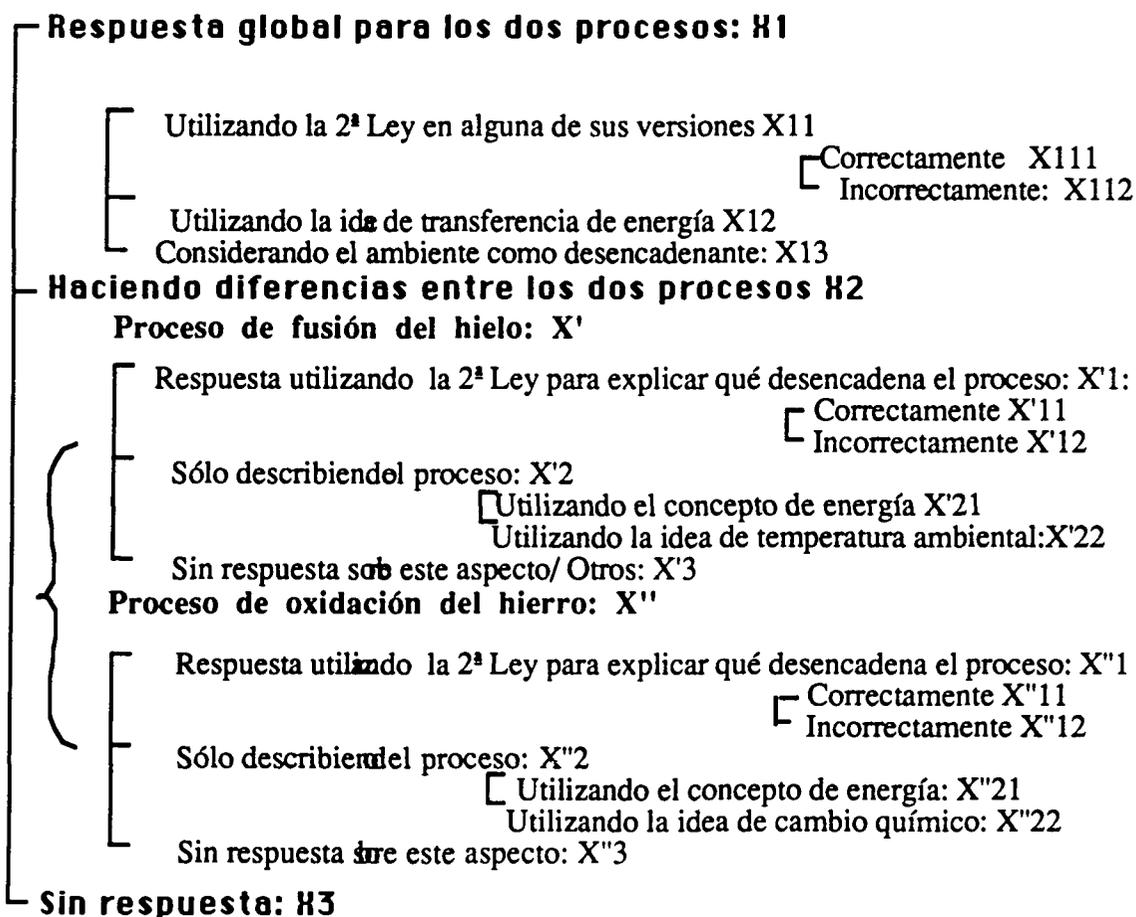
5.27. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 10 (O-3B)

A continuación citamos dos procesos que, de forma natural, suceden en nuestro entorno: el hierro al aire libre se oxida y el hielo se funde a temperatura ambiente. ¿Podrías explicar qué desencadena estos procesos? Utiliza alguno de estos conceptos: energía, entropía, energía libre.

La cuestión ha sido planteada a 141 estudiantes de 1º Universidad (Biológicas) y a 40 estudiantes de 3º de Físicas.

Los estudiantes responden a la cuestión mediante dos procedimientos: diferenciando los dos procesos (X_1) o no haciendo distinción entre ellos X_2 .

El código completo de respuestas es:



Al comparar los dos grupos de estudiantes :

	1º Univ.(Biol)	3º Físicas
Respuesta global: X_1	30.5%	32.5%
Haciendo diferencias entre procesos X_2	39%	60%
Sin respuesta X_3	30.5%	7.5%

Parecería que los estudiantes de nivel más avanzado preferirían dar una respuesta global que incluyera los dos procesos, pero no es éste el caso.

Como en muchas otras cuestiones, un buen porcentaje de alumnos de 1º no responden mientras que los de 3º tienen mayor seguridad y casi todos responden

Estudiantes que dan una respuesta global :

Dentro del grupo de estudiantes que eligen dar una respuesta global para explicar qué es lo que desencadena los dos procesos, podemos distinguir tres subgrupos:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Utilizando la 2ª ley en alguna de sus versiones: X_{11}	22.7%	32.5%
Correctamente X_{111} (14.9%)		(27.5%)
Incorrectamente: X_{112} (7.8%)		(5%)
Utilizando la idea de transferencia de energía: X_{12}	3.5%	0%
Considerando el ambiente como desencadenante: X_{13}	4.3%	0%
Total	30.5%	32.5%

Todos los estudiantes de 3º que no hacen distinciones entre los dos procesos dan una respuesta considerando que la 2ª Ley puede explicar los dos procesos. Ninguno de ellos intenta explicar ambos procesos (fusión del hielo y oxidación del hierro) utilizando la idea de transferencia de energía o la de las condiciones ambientales. Es decir, piensan que la 2ª Ley puede dar cuenta de ambos procesos y no es necesario hacer distinciones entre ellos. Dan la respuesta que cabría esperar de unos alumnos con un buen nivel de formación en los conceptos de la Termodinámica.

De entre toda la muestra de estudiantes de 3º de Físicas, un 32.5% procede de este modo (aunque un 5% da explicaciones no correctas).

Una respuesta incluida en esta categoría X_{11} es, por ejemplo: *"En ambos procesos el hierro y el agua acceden a estados de menor energía libre o de mayor entropía"* (3º Fis)

Es también bastante numeroso el grupo de estudiantes de 1º que no distinguen en la explicación a ambos procesos. Pero las razones que utilizan para ello no siempre están basadas en una interpretación correcta de la 2ª Ley (un 14.9%)

Algunos estudiantes (un 3.5%) piensan que las transferencias de energía son las causas de la fusión del hielo o de la oxidación del hierro. Otros (4.5%) consideran el ambiente como desencadenante de ambos procesos.

Estudiantes que distinguen entre los dos procesos X_2

Un 60% de los estudiantes de 3º y un 39.1% de los de 1º explican separadamente las causas que provocan tales procesos. Grupo X_2

Veamos sus explicaciones:

Comparación de respuestas sobre la fusión del hielo:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Utilizando la 2ª ley en alguna de sus versiones: X'_1	25.5%	35%
Correctamente X'_{11}	(18.4%)	(todo corr)
Incorrectamente X'_{12}	(7.1%)	
Sólo describiendo el proceso: X'_2	11.3%	20%
Sin respuesta sobre este aspecto/Otros: X'_3	<u>2.2%</u>	<u>5%</u>
	39%	60%

Los que consideran que la 2ª Ley puede explicar la fusión del hielo y dan una respuesta correcta son un 18.5% de los de 1º y un 35% de los de 3º.

Otros estudiantes no saben encontrar un desencadenante del proceso y se limitan a describirlo utilizando la idea de transferencia de energía o simplemente la de la temperatura ambiente: *"El hielo se funde porque el ambiente transmite energía en forma de calor al hielo aumentando la energía cinética de las moléculas, volviéndose en estado líquido"* (3º Fis)

Un menor porcentaje de alumnos de 1º hace respuestas de este tipo: (8.5% pertenecientes al grupo X'_{21} y un 2.8% al grupo X'_{22}). Así: *"El hielo se funde porque no aumenta su*

temperatura. La energía cinética de sus moléculas aumenta, aumentando los movimientos moleculares y rompiéndose algunos enlaces", "El hielo se funde porque la temperatura de congelación es 0° y la temperatura ambiente es 24-25°"

Casi todos los alumnos responden de una forma u otra lo que desencadena el proceso de fusión. Sólo un 2.2% de 1º y un 5% de 3º no lo hacen.

Comparación de respuestas sobre la oxidación del hierro:

Los estudiantes que consideran que la 2ª Ley puede dar explicación de la oxidación del hierro y de una forma correcta son sólo un 5% en 1er. curso y en cambio un 25% en 3º. Podemos observar en las tablas que, en ambos cursos, el número de alumnos que recurren a la 2ª Ley para explicar este proceso espontáneo es menor que para la fusión del hielo.

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Utilizando la 2ª ley en alguna de sus versiones: X'' ₁	8.5%	25%
Correctamente X'' ₁₁	(5%)	25%
Incorrectamente X'' ₁₂	(3.5%)	0%
Sólo describiendo el proceso: X'' ₂	22.7%	27.5%
Sin respuesta sobre este aspecto/Otros: X'' ₃	<u>7.8%</u>	<u>7.5</u>
	39%	60%

La oxidación del hierro la explican más frecuentemente con sólo describir el proceso, algunos utilizando la idea de transferencia de energía y otros simplemente sirviéndose de la idea de cambio químico.

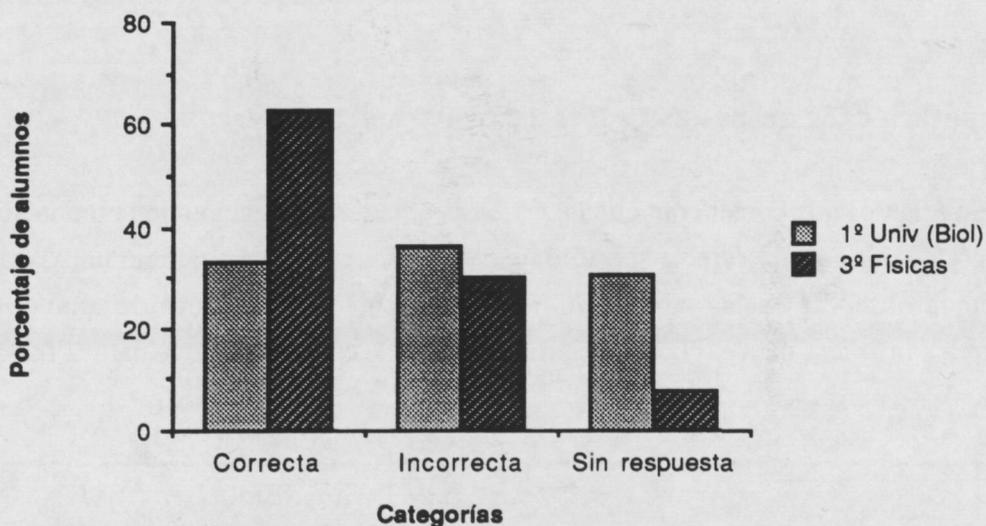
Respuestas de estos tipos son, por ejemplo: "El hierro se oxida a causa del contacto con el aire y la humedad" (3º Fís) "El hierro se oxida porque el aire destruye alguna de sus propiedades a través de la energía" (1º Univ)

En síntesis:

Una correcta explicación del desencadenante de la fusión del hielo se ha encontrado en un 33.3% (14.9% de X1 y 18.4% de X'11) de los estudiantes de 1er. curso (una tercera parte) y un 62.5% (27.5% + 35%) de los de 3º (alrededor de 2/3 partes). El resto de los estudiantes da una respuesta incorrecta o bien no contesta.

	1º Univ.(Biol)	3º Físicas
Respuesta correcta	33.3%	62.5%
Respuesta incorrecta	36.2%	30%
Sin respuesta	30.5%	7.5%

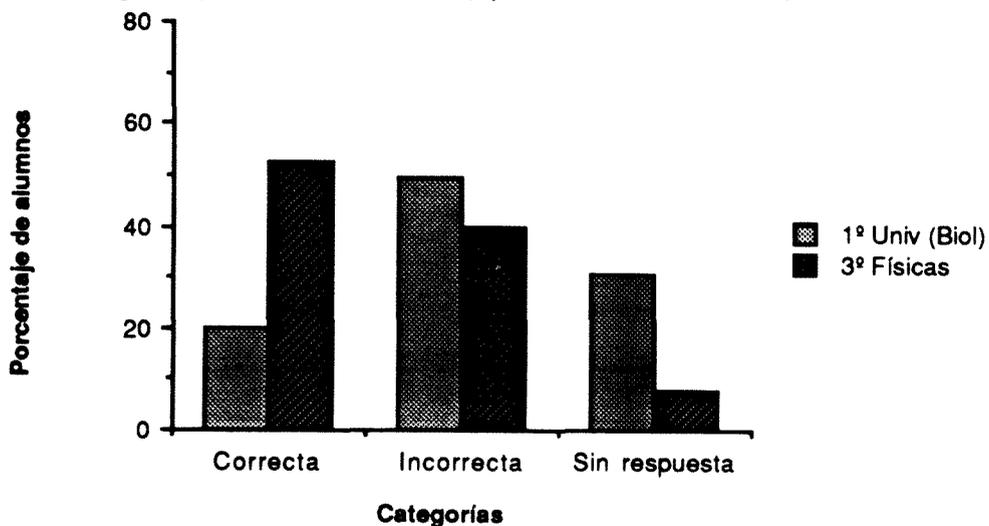
Diagrama para cuestión 10 (Q-3B), para fusión hielo, frecuencias en %



Una correcta explicación de la causa de la oxidación del hierro la hemos encontrado en un 19.9% (14.9% + 5%) de los alumnos de 1º (casi 1/5 parte) y un 52.5% (27.5% + 25%) de los de 3º (cerca de la mitad). El resto de los estudiantes no responden propiamente a esta parte de la cuestión o la dejan en blanco.

	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
Respuesta correcta	19.9%	52.5%
Respuesta incorrecta	49.6%	40%
Sin respuesta	30.5%	7.5%

Diagrama para cuestión 10 (Q-3B), para oxidación del hierro, frec. %



Podemos darnos cuenta que en ambos cursos las respuestas acerca de la fusión son mejores que sobre la oxidación. Podemos preguntarnos: ¿El pensar lo que desencadena un cambio químico es más difícil que pensarlo para un cambio físico? ¿o es que el agua/hielo es un tema muy frecuente en los cursos? No sabemos por ahora el porqué de las diferencias de resultados.

5.28. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 11 (O-3B)

Enunciado de la cuestión:

Al abrir la puerta en una habitación en la que hay mucho humo, pronto se esparce por las habitaciones contiguas. Al final todo el humo queda distribuido por igual. ¿Qué impulsa este proceso? Si puedes, utiliza conceptos científicos para responder.

La cuestión ha sido planteada a 141 estudiantes de 1º Universidad (Biológicas) y a 40 estudiantes de 3º de Físicas.

Las explicaciones sobre la causa que impulsa el proceso han sido codificadas de acuerdo con las siguientes categorías:

Y₁- Intentan buscar una causa.

Esta categoría se ha subdividido en:

Y₁₁- El proceso es debido a alguna propiedad de los gases

Y₁₂- El proceso es debido a una tendencia

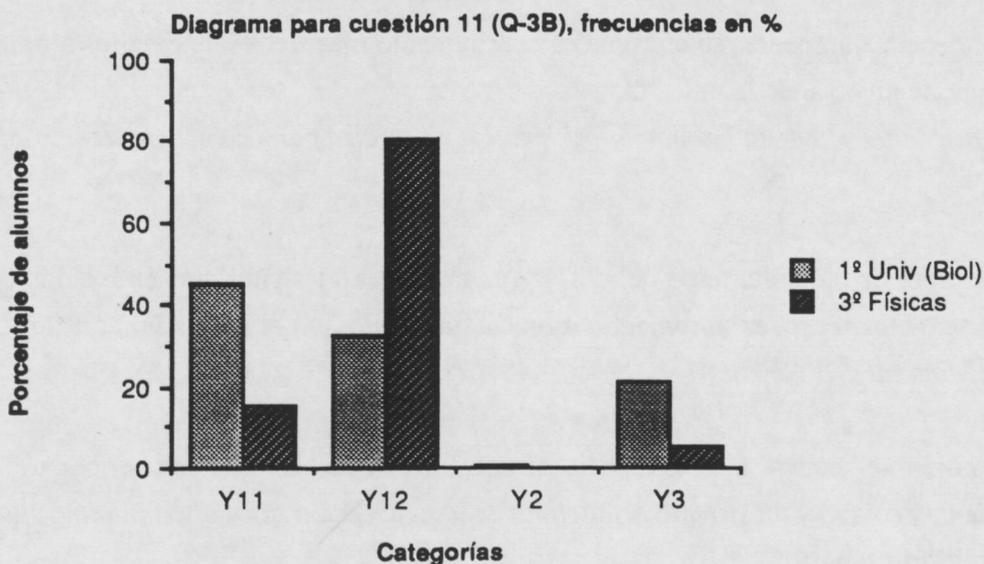
Y₂- No tiene explicación este proceso

Y₃- Sin respuesta

Podemos comparar las respuestas de los estudiantes de los dos niveles en la tabla y en el diagrama de barras:

¿Qué impulsa el proceso?

	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
Explicación de una causa: Y₁		
Debido a alguna propiedad de los gases: Y₁₁	45.4%	15%
Debido a una tendencia Y₁₂	32.6%	80%
No tiene explicación: Y₂	0.7%	0%
Sin respuesta: Y₃	21.3%	5%



Un 45.4% de los estudiantes de 1er. curso piensan que el proceso viene impulsado por alguna propiedad de los gases. Es un porcentaje 3 veces mayor que en 3er. curso.

De entre ellos, la mayoría interpretan que la propiedad de los gases de tender al máximo volumen es la explicación de la causa de que se produzca el proceso.

Menos son los que lo achacan a diferencias de presión o de temperatura entre las habitaciones o bien a la movilidad y "desorden" de los gases.

"Los gases tienden a ocupar todo el volumen que les rodea gracias a la movilidad de sus moléculas" (1º Univ), "Las colisiones entre las moléculas les llevan a las zonas menos ocupadas" (3º Fís)

La tabla refleja estos porcentajes de la subclasificación :

Debido a alguna propiedad de los gases: Y ₁₁		
	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
Tendencia al máximo volumen Y ₁₁₁	30.5%	7.5%
Diferencia de p o T entre habitaciones: Y ₁₁₂	5%	2.5%
Movilidad, desorden de los gases: Y ₁₁₃	9.9%	5%
	45.4%	15%

Si bien este tipo de razonamientos son los más frecuentes en 1º Universidad, las respuestas más frecuentes de los alumnos de 3º de Físicas son las que relacionan el proceso de difusión del humo entre las habitaciones con la 2ª ley de la Termodinámica.

No todos dan las mismas explicaciones ni se basan en las mismas ideas.

La tendencia a aumentar su entropía es el argumento más frecuente para los alumnos de 3º. Supone un 45% de la muestra.

"Al abrir la puerta de la habitación, el humo se esparcirá para aumentar su entropía" (1º Univ)

También se apela al aumento del desorden, en porcentajes similares en los dos cursos. Así: *"Este proceso es impulsado por un aumento en el desorden (2ª ley de la Termodinámica)"*(3º Fís)

Y también se recurre a la tendencia al equilibrio con bastante frecuencia: *"Hay un gradiente positivo y un sistema evoluciona en una dirección que le permita una situación de equilibrio superior"*(3º Fís)

Otros finalmente se refieren a la búsqueda de la homogeneidad o a la igualdad. *"El potencial químico del aire con humo es mayor que el del otro aire, por tanto el proceso tiende a igualar los potenciales"* (3º Fís)

Recojemos los porcentajes en la tabla:

Debido a la tendencia: Y_{12}

	1º Univ. (Biol)	3º Físicas
a aumentar la entropía: Y_{121}	8.5%	45%
a aumentar el desorden: Y_{122}	7.1%	7.5%
al equilibrio: Y_{123}	7.8%	20%
a la homogeneidad: Y_{124}	9.2%	7.5%
	32.6%	80%

5.29. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 12 (O-3B)

Enunciado de la cuestión:

Algunos dicen que la energía es la capacidad de realizar trabajo. De acuerdo con la 2ª Ley de la Termodinámica, en un sistema cerrado, la capacidad de hacer trabajo disminuye con el tiempo. Por tanto, según esto la 2ª Ley dice que la energía disminuye. Si la energía se conserva, ¿qué hay de contradictorio en esta cuestión?

La cuestión ha sido planteada a 141 estudiantes de 1º Universidad y a 40 estudiantes de 3º de Físicas.

Se trataba de conocer la concepción de energía que los estudiantes de los dos niveles se habían formado y a la vez analizar como reaccionaban cuando se les confrontaba con una contradicción entre una argumentación y un conocimiento tradicional (la definición: energía = capacidad de realizar trabajo).

Así pues, en la primera clasificación de las respuestas se trataba de agrupar las que suponían reconocer la contradicción y las que intentaban resolverla. La tabla nos muestra los resultados comparativos entre los dos grupos:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Sin respuesta Z_0	57.4%	7.5%
Sólo se describe y reconoce la contradicción Z_1	5%	--
Respuesta intentando resolver la contradicción Z_2	37.6%	92.5%

Z_0 - Observamos que más de la mitad de los alumnos de 1er. curso no se sienten seguros de saber responder a la cuestión. Muy pocos de 3º se encuentran en esta situación.

Z_1 - Algunos de 1º se dan cuenta de la contradicción pero no saben como razonar para resolverla. *"La contradicción es que si se conserva no tendría que disminuir. Si se conserva es que hay siempre la misma energía"* (1º Univ). Todos los alumnos de 3º se sienten capaces de ofrecer un razonamiento, a pesar de ello, algunos ven la contradicción y otros no.

Los que dan una respuesta completa (grupo Z_2) han sido subclasificados de acuerdo con que acepten o no la definición de energía como capacidad de hacer trabajo.

Aquí están los resultados:

¿Energía = Capacidad de hacer trabajo?

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Sí: Z_{21}	30.6%	62.5%
No: Z_{22}	3.5%	30%
Ambiguo: Z_{23}	3.5%	0%
	37.6%	92.5%

Son porcentajes sobre el total de la muestra. Casi las 2/3 del total de los alumnos de 3º Físicas aceptan la definición tradicional mientras que sólo 1/3 parte de los de 1º la aceptan explícitamente (muchos son los que no han respondido a la cuestión)

Si tomamos en cuenta sólo los estudiantes que han dado alguna respuesta a la cuestión, los porcentajes varían considerablemente:

¿Energía = Capacidad de hacer trabajo?

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Si: Z_{21}	71.6%%	67.5%
No: Z_{22}	8.3%	32.5%
Ambiguo: Z_{23}	8.3%	--
	88.2%	100%

(Los estudiantes de 1º en el grupo Z_1 -sólo describiendo y reconociendo la contradicción- representan un 11.8% de los que responden)

Estos nuevos resultados nos permiten observar similares porcentajes de estudiantes (cerca del 70%) de los dos cursos que aceptan la definición tradicional. Estos deben aceptar y hacer compatible que la energía es la capacidad de hacer trabajo y, a la vez que, la capacidad de hacer trabajo disminuye mientras que la energía se conserva.

Para compaginar todas estas cosas contradictorias, los estudiantes Z_{21} dan diferentes razones:

Algunos dicen:

La energía disminuye porque se transforma o se degrada. Grupo **Z₂₁₁**

"La energía se conserva pero cambia de forma, de manera que ya no es posible realizar trabajo pero la capacidad de hacerlo está aún en el sistema" (3º Fís). Es el tipo de razonamiento más frecuente en los dos cursos. Representa el 40% de las respuestas en 3º Físicas y el 19.1% en 1º (porcentajes sobre el total de las muestras)

Otros argumentan:

La energía disminuye porque pasa al sistema exterior. Grupo **Z₂₁₂**

"Que la energía disminuya en un sistema cerrado no significa que disminuya totalmente, sino que ha pasado fuera del sistema en forma de calor" (1º Univ).

Está claro que esta respuesta no resuelve la contradicción ya que no especifica si la capacidad de hacer trabajo ha disminuido o no en el sistema exterior.

Una tercera línea de razonamiento (**Z₂₁₃**) se vale de que los términos de la cuestión no eran del todo correctos. La cuestión decía: "...en un sistema cerrado la capacidad de hacer trabajo disminuye con el tiempo"....Debería haber dicho "...en un sistema aislado..." tal como se usa en lengua castellana o catalana. Si bien muchos alumnos de 3º probablemente conocen suficientemente la 2ª Ley para interpretar correctamente la cuestión, ello les ha permitido decir que la energía disminuye porque sólo se conserva en sistemas aislados. Encontramos respuestas tales como: *"La causa es que la energía se conservará en un sistema aislado. Un sistema cerrado permite el intercambio de energía con lo que no hay ninguna contradicción"*. (3º Fís)

Un 20% de estudiantes de 3º da este tipo de respuesta y un 4.3% en 1º.

Z₂₁₄- Sólo dos estudiantes de 1º y ninguno de 3º considera que la energía se ha perdido o gastado. "La energía se conserva en parte, si se producen cambios de orden, pero si no hay un desorden la energía se gasta poco a poco" Otro dice explícitamente: *"Quizás la energía no se conserva"* (1º Univ). Vemos pues, el principio de conservación puesto en cuestión!

En resumen, para el grupo **Z₂₁**:

Energía es la capacidad de hacer trabajo pero disminuye porque:

	1º Univ (Biol)	3º Físicas
Se transforma: Z₂₁₁	19.1%	40%
Pasa al sistema exterior: Z₂₁₂	5.7%	2.5%
E.se conserva sólo en sistemas aislados: Z₂₁₃	4.3%	20%
Se pierde o se gasta: Z₂₁₄	1.4%	0%
	30.6%	62.5%

Todos estos estudiantes intentan resolver a su manera la contradicción y hacer compatible la disminución de la capacidad de realizar trabajo con su concepción de la energía y con su conservación.

Lo contrario ocurre con el grupo de estudiantes codificados como **Z₂₂**:

No aceptan que la energía sea la capacidad de hacer trabajo. Consideran que la capacidad disminuye pero la energía no.

Este grupo no representa más que 1/3 parte de los alumnos de 3º de Físicas y sólo un 3.5% de los de 1º de Universidad.

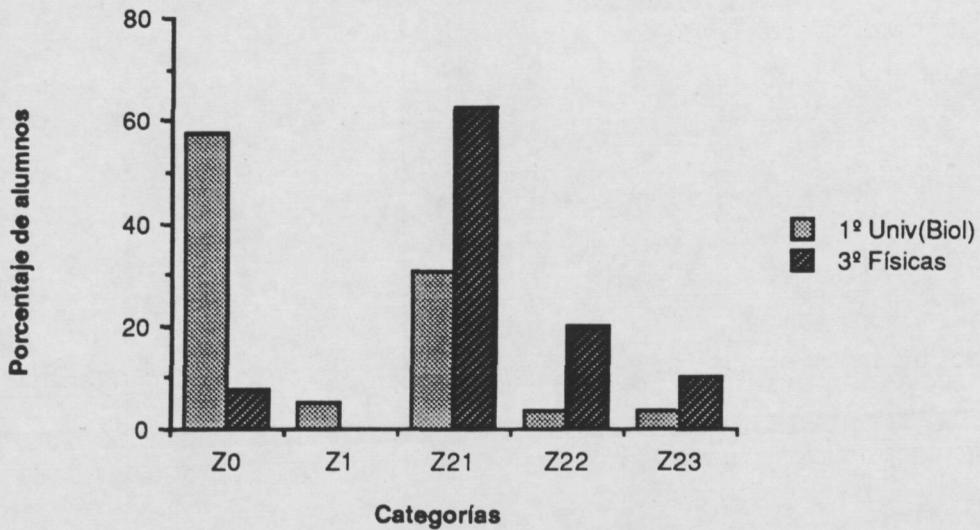
Podemos encontrar respuestas tales como: *"Lo que disminuye es la capacidad de hacer trabajo, no la energía. Esta se degrada, es decir, pasa de un estado en el que nos es útil a otro que no lo es, pero nunca deja de conservarse"* o bien *"El error de la cuestión es asimilar la energía sólo con la capacidad de hacer trabajo sin considerar la capacidad de calentar el sistema. La energía perdida según la definición anterior es energía en forma de calor"* (3º Fis).

De todos modos en ninguna de las respuestas aparece el concepto de energía libre o de energía disponible. Comprobamos una vez más que éstos son unos grandes desconocidos para los alumnos de los dos niveles.

Podemos resumir las respuestas en las siguientes tabla y diagrama de barras:

Sin respuesta: Z0.....	57.4%	7.5%
Sólo se describe y reconoce la contradicción: Z1.....	5%	--
Se intenta resolver la contradicción:		
¿Aceptan : "Energía = capacidad para realizar trabajo"? Z2		
SI Z21.La energía disminuye porque:		
se transforma: Z211.....	19.1%	40%
pasa a sistema exterior: Z212 ..	5.7%	2.5%
sólo se conserva		
en sistemas aislados: Z213 ..	4.3%	20%
se pierde o gasta: Z214.....	1.4%	-
NO Z22 E ≠ capacidad de hacer W. La capacidad disminuye, Energía no	3.5%	20%
Ambiguo: Z23.....	.3.5%	10%

Diagrama para cuestión 12 (Q-3B), frecuencias en %



Capítulo 6

CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES

Después de describir pormenorizadamente las respuestas de los estudiantes de distintos niveles universitarios a un cierto número de cuestiones, es ahora el momento para entresacar y mostrar las ideas generales que se han venido observando repetidamente.

Es necesario tener presentes cuales son las concepciones generales con que los estudiantes afrontan diversos temas de estudio y analizan diferentes fenómenos, al margen de lo que haya podido enseñárseles.

La síntesis de las concepciones encontradas en el capítulo anterior se refieren a estudiantes de 1º de Universidad (en 1º de Biológicas y algunas veces en 1º de Físicas) y a estudiantes de 3º de Físicas.

Hemos constatado una y otra vez que tanto las mejores concepciones como las más erróneas se observaban, la gran mayoría de veces, en estudiantes de los dos niveles universitarios, si bien en proporciones distintas. Hemos podido incluir las concepciones de los estudiantes en categorías que eran válidas para los dos niveles. Los más elevados porcentajes de respuestas mejores corresponden, en todas y cada una de las cuestiones, a los alumnos de 3º de Físicas, como era de esperar. Pero también, en casi todas las cuestiones hemos encontrado respuestas de alumnos de 3º calificables como más deficientes.

(Sentado lo anterior, en el resto de citas textuales de las respuestas no aclararemos más si proceden de alumnos de un nivel u otro).

6.1. Concepciones entorno a la energía y otros conceptos implícitos en la 1ª Ley de la Termodinámica

6.1.1. Acerca del concepto de Trabajo

Al analizar diferentes cuestiones hemos podido constatar como un concepto físico elemental como el Trabajo, no se concibe del mismo modo por todos los estudiantes.

Ninguna de las cuestiones pretendía conocer directamente las concepciones que se habían formado los estudiantes sobre el trabajo. Pero, como se ha visto en páginas anteriores, se detectan ideas sorprendentes. Sin intentar ser exhaustiva, parece interesante destacar:

1. La energía puede "transformarse en trabajo"

En lugar de considerar la realización de trabajo como un modo de cambiar la energía de un sistema o un modo de cambiar la energía potencial o cinética de una partícula (o de un cuerpo tomado como partícula sin dimensiones), el trabajo es concebido como una forma que puede tomar la energía.

En cuestiones como la 8-Q-3B hemos podido leer frases como: *"La energía se ha transformado en trabajo realizado por el motor del coche"* o bien *"La energía de la gasolina se ha transformado en energía de diferentes tipos: trabajo mecánico, calor etc"*

Un buen número de estudiantes considera que la energía se puede transformar en trabajo o bien en trabajo y calor.(8-Q-3B)

"Aproximadamente un 60% se ha transformado en trabajo que hace mover el coche y un 40% en calor" o "Parte de ella se ha convertido en trabajo (su desplazamiento y la fuerza que ha vencido), parte se ha perdido en calor del motor, etc..."

Para algunos de ellos, el trabajo es comparable a la energía potencial:

En su respuesta a la cuestión 9-Q-3B, un estudiante decía: *"El trabajo de dar cuerda al reloj se almacena en el muelle"* ¿Concibe el trabajo como una energía potencial elástica? o simplemente ¿confunde energía y trabajo?

2. El trabajo se concibe como una forma de perder energía

Algunos estudiantes piensan que si un sistema realiza un trabajo, ya no es necesario seguir la pista a la energía transferida. El trabajo la ha hecho desaparecer.

Lo hemos podido constatar en los estudiantes que respecto a la imposibilidad de que el muelle del reloj volviera a enroscarse por sí mismo decían que la energía ya se había transformado en trabajo: *"Porque la energía proporcionada por nosotros se ha transformado en trabajo, ya realizado"* o *"No puede porque la energía asociada al movimiento del reloj ya se transformado en trabajo"*

La misma idea se ha encontrado en la cuestión acerca de la energía de la gasolina: La energía no puede recuperarse porque se ha utilizado ya para realizar trabajo: *"No puede, se ha invertido en el trabajo hecho para que el coche se desplace desde el origen hasta el*

final" "La energía se ha transformado en un trabajo (parte del cual será transformado en calor) "

Hemos podido observar frecuentes expresiones como las anteriores a lo largo de la descripción de resultados de las cuestiones 8 y 9 de Q-3B

Estos tipos de respuestas reafirman el punto de vista según el cual algunos estudiantes consideran el trabajo como una forma de energía y además supone, con frecuencia, que el trabajo es concebido como una forma de perder energía.

a) Algunos estudiantes imaginan el trabajo como un sumidero en el que la energía desaparece. La energía se gasta, pierde o consume con la realización de trabajo

En otros casos, habíamos visto que consideraban que la energía se gastaba al poner en movimiento un objeto o en mantenerlo con cierta energía cinética. Ahora tratamos de los casos en que el trabajo es el consumidor de energía. No están refiriéndose o teniendo en cuenta la degradación sino simplemente, consideran que el trabajo es una especie de pozo muerto en el que desemboca la energía.

Probablemente, esto es una consecuencia de la definición de energía como capacidad de realizar trabajo. Cuando la capacidad disminuye, también disminuye la energía.

b) Podríamos imaginar que las respuestas muestran un punto de vista científico y que los estudiantes conciben el trabajo como una forma de degradarse la energía.

Entonces encontraríamos razonamientos del tipo: La realización de trabajo, en los casos del motor de coche, del muelle del reloj o de la piedra (cuestiones 7,8 y 9 Q-3B) conlleva una disipación o degradación de la energía que aumenta la energía interna del entorno. Esta dispersión de energía entre las moléculas del ambiente entorno al coche, el reloj o la piedra hace que la energía sea irrecuperable para la realización de nuevo trabajo. Un estudiante explicita: *"Podemos recuperar toda la energía perdida como calor pero no veo como es posible recuperar la energía utilizada para realizar trabajo. ¿Cómo se recupera la energía cinética?"*

En los tres ejemplos antes citados, el cambio de energía química (energía potencial interna, si se prefiere), energía potencial elástica y energía potencial gravitatoria, en energía interna del sistema y su entorno quizás podría estar en la mente de alguno de los estudiantes pero ninguno de ellos lo ha expresado.

Algunas veces, algunas respuestas podían sugerirme que se estaba pensando en ello, pero no tenemos indicios claros. En cambio, sí los tenemos en sentido contrario.

En las respuestas, generalmente más ingenuas, de los estudiantes de 1º se expresa con toda claridad que la energía se pierde como movimiento, como trabajo o como energía

cinética. En las respuestas más maduras tampoco se suele decir que mediante el trabajo se disipa energía, sólo se hace referencia a "*la energía degradada en forma de calor*"

Así podemos encontrar frases relativas a la energía de la gasolina del coche que se ha parado: "*Toda la energía se ha utilizado para realizar el trabajo de mover el coche, la otra parte se ha disipado por fricción*" El mismo estudiante, al responder si la energía puede recuperarse, dice: "*Toda no puede recuperarse, la energía disipada como calor es irrecuperable, la 2ª Ley lo prohíbe*". Es decir, en su mente, el calor es la manera en que se degrada la energía pero no el trabajo. ¿Se ha perdido? ¿Es por el contrario la única energía recuperable?.

De la lectura de un gran número de explicaciones dadas por estudiantes de los dos niveles, puedo asegurar que queda claro que el trabajo es concebido con frecuencia como un sumidero por el que se escapa o desaparece la energía.

6.1.2. Acerca del concepto de calor

En muchas cuestiones, hemos constatado que el concepto de calor tiene diferentes interpretaciones.

1. Considerar o tratar el calor como una forma de energía es bastante habitual

"La energía se ha transformado en deformación y en calor, formas no recuperables de energía".

El calor, en lugar de ser pensado como una manera de transferir o intercambiar energía entre sistemas a diferentes temperaturas, se considera una forma de energía.

Si bien es poco usual e incluso resulta extraño decir que el trabajo es una forma de energía, no lo es decir que *"el calor es una forma de energía"*. Este punto ha sido abordado en el primer capítulo y ya hemos señalado que utilizar siempre la expresión "proporcionar calor" en lugar del sustantivo "calor" resulta menos confuso. y más claro para la utilización correcta de la 1ª Ley de la termodinámica

Como hemos visto, en algunos casos es difícil distinguir entre calor y trabajo. Alonso y Finn consideran el calor como el resultado de trabajos microscópicos. Definen el calor como *"el valor promedio del trabajo externo o la energía intercambiada entre un sistema y el medio que le rodea debido a intercambios individuales de energía que ocurren como resultado de choques entre moléculas del sistema y moléculas del medio que le rodea"*. Desde esta perspectiva o simplemente a nivel macroscópico como en Termodinámica, el calor no puede considerarse una forma de energía. Si lo hiciéramos, tanto podríamos hablar del calor de un sistema como del trabajo de un sistema. Ambas magnitudes no son propiedades de un sistema. Si no hacemos el paralelismo entre calor y trabajo o, mejor dicho, entre proporcionar calor y realizar trabajo, la 1ª Ley de la Termodinámica no tiene sentido.

2. La disipación de la energía es concebida como un cambio de energía en calor

Con esta concepción que aparece frecuentísimas veces en los escritos de los estudiantes, observamos que el concepto de calor es utilizado como energía interna. Quizás es una consecuencia de la historia del concepto de calor pero ciertamente el doble sentido que se da al término calor provoca equívocos en los estudiantes. Algunas veces, consideran el calor como la transferencia de energía que tiene lugar entre cuerpos a diferente temperatura mientras otras veces lo consideran como energía interna del sistema.

Así hemos podido leer: *"La energía de la gasolina se ha disipado como calor debido a la fricción con el aire, la fricción con el suelo, fricción de la máquinas y fricción de los frenos. Se ha utilizado para aumentar la temperatura del universo (muy poco)"* Aquí el concepto de calor se utiliza como sinónimo de energía interna.

3. El calor es para algunos la única forma irrecuperable de energía mientras para otros es la única forma recuperable.

Hemos podido encontrar frases como: *"La energía ha pasado a formas irrecuperables (calor, ruido, etc)";* y también otras en sentido inverso: *"En el ejemplo del coche que ha realizado el trayecto podríamos recuperar el calor producido. Hay una parte que se utiliza para realizar trabajo que no se recupera."*

6.1.3. Energía interna y calor

1. El concepto de energía interna es escasamente utilizado.

El término energía interna no forma parte del vocabulario científico habitual.

A lo largo del estudio he podido constatar que raras son las ocasiones en las que el término energía interna aparece.

Parecería lógico que lo encontráramos, por ejemplo, para explicar la conservación de la energía en el caso de la piedra que cae y se para en el suelo. Pero esto no ocurre. Los estudiantes piensan con mayor frecuencia en términos utilizados desde la mecánica que desde la termodinámica. *"Durante el choque se produce un calentamiento o un trabajo"* En los mejores casos, aunque raros, aducen la dispersión de la energía entre las moléculas del ambiente

2. Coherencia e incoherencia: argumentos no esgrimidos

En ningún caso aparece la idea de movimiento coherente del sistema contrapuesto a movimiento caótico; su conocimiento ayudaría a distinguir entre las transferencias de energía que se producen realizando trabajo o bien proporcionando calor.

De otro modo, las relaciones entre trabajo, calor y energía interna suelen ser muy confusas en el pensamiento de nuestros estudiantes. Así podemos leer: *"No podemos obtener trabajo partiendo únicamente de calor"* (¿se niega la realización de trabajo en un proceso adiabático?) y también *"El calor no puede ser completamente transformado en energía"*.

Sabemos de la dificultad de distinguir entre calor y trabajo en algunos casos en que un trabajo externo produce un aumento del movimiento térmico. Pero no es ésta la dificultad de nuestros estudiantes porque son múltiples las ocasiones en que se utilizan inapropiadamente. Después de Chomsky y muchos psicolingüistas, sabemos ya que la utilización confusa del lenguaje encierra una confusión en los conceptos invocados.

6.1.4. Dificultades entorno al concepto de energía

Si como hemos visto en el capítulo 1, hay problemas para definir y conceptualizar la energía, mayores serán las dificultades que encontrarán los estudiantes para tener unas ideas completamente claras. Es lo que hemos constatado.

1. La definición de energía no coincide con la concepción que de ella se tiene.

Pocos estudiantes definen energía como una propiedad asociada a un sistema pero incluso los que así lo hacen, en otros contextos no utilizan la palabra energía para designar una propiedad. Así por ejemplo un estudiante de 3º Físicas que define energía como *"Una propiedad de los sistemas físicos que caracteriza su estado y nos indica sus posibilidades de evolución"* pero unas líneas más abajo utiliza el concepto de energía como si se tratara de una sustancia: *"Si hacemos que las cosas se sometan a esfuerzos o adquieran energía que no puedan soportar se rompen o estropean"*, o bien *"No siempre es posible que un tipo de energía pueda transformarse en otro tipo utilizable para nosotros"*. Son frases habituales de los estudiantes pero la concepción de "propiedad de los sistemas físicos" ha desaparecido.

2. La energía se concibe como un fluido.

Es habitual considerar la energía como un fluido que se mueve y cambia de forma. Como consecuencia, el uso de las expresiones *"formas de energía"* y *"transformaciones de energía"* es frecuente tal como ya advertíamos en el capítulo 1.

Es menos corriente entre los alumnos de 3º de Físicas pero sigue siendo común leer: *"la energía fluye durante las interacciones"*

Dar a una propiedad las características de una sustancia no ocurre sólo en este caso. (Ver tesis doctoral de N. Sanmartí). De todos modos cabría preguntarse por las raíces de este mecanismo tan arraigado en la mente humana al enfrentarse con la abstracción. No es éste el lugar para analizar este aspecto pero sería un campo de trabajo que podría dar luz a diversos ámbitos.

En el caso del concepto de energía, sabemos de la necesidad de utilizar modelos para referirlo pero la mayoría de modelos o analogías utilizadas dan la idea de un fluido.

3. La definición de energía como capacidad de realizar trabajo

Hemos comprobado que muchos alumnos definen la energía como la capacidad de realizar trabajo. Tal estereotipada definición, ya analizada en el capítulo 1, comporta que los estudiantes consideren que la energía disminuye cuando así lo hace la capacidad de un sistema para realizar trabajo. Probablemente ésta es la causa de que la mayoría de estudiantes respondan erróneamente la cuestión 11 de Q-3A. En ella, se enfrentaba directamente a los estudiantes con la disyuntiva entre tal definición de energía y la disminución de la capacidad de los sistemas para realizar trabajo. Parece necesario que el concepto de energía disponible sea aprendido por los estudiantes.

4. La energía es concebida como impulsora de los procesos

En los escritos de los estudiantes de los diferentes niveles es frecuente constatar que los estudiantes conciben que lo que impulsa los procesos es la energía. Es una concepción muy común que a menudo se encuentra en los medios de comunicación. Como hemos destacado en el capítulo 1, la confusión reside en mezclar el concepto de entropía con el de energía, es decir, en ser la causa de un cambio y ser necesario para un proceso. Como ha quedado dicho, un proceso tiene lugar si a lo largo de él la entropía puede aumentar y si podemos asociar suficiente energía al sistema.

5. "Tener energía", la posesión de algo suplementario

La expresión "tener energía" es común en el lenguaje cotidiano. El significado que los estudiantes asignan a tales términos es el siguiente: un sistema que tiene energía es un sistema que tiene algo -probablemente una sustancia- más que otro. En realidad, cuando podemos asignar un gran valor de la energía a un sistema, los cambios que pueden ocurrir serán mayores pero los estudiantes interpretan que tiene alguna cosa suplementaria. Podemos concluir lo anterior a partir de las respuestas a las cuestiones 2, 3, 4 y 5 del cuestionario Q-3B.

6. Materia, masa y energía

Hemos visto que los estudiantes a niveles superiores mezclan los conceptos de energía y materia. Esta confusión (especialmente evidente a partir de la cuestión 9 de Q-3A) proviene de:

- no distinguir entre materia y masa

- una deficiente comprensión de $E = mc^2$ (Hemos leído: *"La materia es energía como Einstein ya demostró"*).
- se adecuaba perfectamente con la primitiva idea del calórico como energía.

7. La visión antropocéntrica de la energía

A menudo, encontramos también estudiantes de los niveles superiores que sienten la necesidad de un agente externo para decidir si puede cambiar la energía de cierto objeto. El esfuerzo humano necesario para poner en movimiento cualquier objeto es visto como la causa del cambio de energía. Esta idea aparece en todos los niveles: *"Para que un libro cambie de energía al pasar de una mesa arriba un estante es necesario tener una energía (músculo de la mano) capaz de realizar tal trabajo"* (3º Fís) *"Será necesario una energía que nuestra mano consumirá para coger el libro y colocarlo sobre el estante"* (1º Univ). Esta visión antropocéntrica muy usual en los alumnos de Primaria y va disminuyendo en niveles universitarios.

6.1.5. Ideas sobre la conservación de la energía

a) Analizar las concepciones de los estudiantes acerca de la conservación de la energía es particularmente difícil si disponemos como única fuente de información las respuestas a los cuestionarios hasta ahora referidos. Los estudiantes expresan sus ideas con palabras escritas y no tenemos otro modo de captar el significado exacto que dan a sus palabras.

Cuando los estudiantes utilizan las expresiones: perder energía, gastar energía, utilizar energía, consumir energía, ganar energía, crear energía, salir energía etc ¿podemos considerar que no aceptan la conservación de la energía? Sería una conclusión demasiado precipitada. Algún estudiante establece el principio de conservación diciendo que *"La energía no se crea ni se pierde, se conserva"* mientras otros se refieren con gran frecuencia a las pérdidas de energía: *"...siempre hay pérdidas de energía.."*, *"...no puede utilizarse la energía perdida por la piedra..."*, *"Un sistema puede perder energía ya que parte del sistema da energía a otra parte..."*

La utilización de términos tan sustancializadores al referirse a la energía, conlleva también un uso equívoco de la conservación de la energía.

b) De todos modos, podemos encontrar frases especialmente ambiguas: *"La energía del universo es constante pero hay muchos casos en que la energía no se conserva, se disipa, se convierte en diferentes tipos de energía del mismo modo que un objeto se convierte en diferentes objetos. Pero, desde luego, la energía total del universo se conserva"*. Este estudiante establece a la vez la conservación y la no conservación cuando hay disipación.

c) Aún hay respuestas de estudiantes más sospechosas de una pobre asimilación de la conservación de la energía. Cuando tratan de un movimiento, una deformación o un trabajo, dan la impresión que los consideran sumideros de energía. Encontramos frases como: *"La energía que podemos aprovechar de la gasolina se convierte en energía mecánica, nos ha transportado de un lugar a otro"* Cuando el trayecto ha finalizado, nos podemos preguntar por la energía ¿El transporte es un sumidero de energía? ¿Y las deformaciones?: *"Ahora tenemos energía en forma no recuperable, es decir, se ha transformado en deformación y en calor"*.

d) Parece ser que muchos estudiantes consideran que el principio de conservación de la energía es la denominada conservación de la energía mecánica: $E_k + E_{pot} = \text{const.}$ Algunos lo explicitan al decir que el principio de conservación de la energía *"indica que la energía medida en un punto de un sistema es la misma si las fuerzas que actúan sobre el sistema son conservativas"*.

La cuestión 7a-Q-3B preguntaba si la energía se conservaba cuando una piedra caía al suelo. Ya hemos señalado que un estudiante responde: *"No se conserva en el sentido dado al principio de conservación pero se conserva si tenemos en cuenta que se produce una deformación sobre el suelo y, por tanto, un cambio de energía interna y además la energía liberada en forma de calor"*.

e) La disipación de la energía es contemplada por algunos estudiantes como una manera de entender la "no conservación" Lo dicen claramente algunos estudiantes: *"Degradación de la energía es un intento de explicar adonde va la energía", "Degradación de la energía significa perder energía de una manera que no puede volver a utilizarse"*.

Podemos llegar a la conclusión, como otros autores proponen, que la conservación y la disipación de la energía deberían ser enseñadas simultáneamente para niveles elementales. Pero a la vez, los estudiantes con diversos estudios en Termodinámica deberían claramente separar ambas ideas y relacionarlas con la 1ª y 2ª Ley.

6.1.6.El aprendizaje de los anteriores conceptos

Podemos intentar comprender las causas de las dificultades entorno a los distintos conceptos, hasta ahora expuestos. Para ello, podemos imaginar una típica historia del aprendizaje recibido por un estudiante común.

En general no se le da ninguna definición de energía dada su dificultad o bien se le explica algo en términos vagos.

Muchos estudiantes aprenden desde los primeros niveles que hay sólo dos tipos de energía.

Los conceptos de energía cinética y potencial suelen ser enseñados con precisión, especialmente cuando se trata de situaciones en las que sólo hay campos de fuerza conservativos. Suelen enseñárseles desde el punto de vista de la Mecánica.

Las expresiones "formas de energía" y "transformación de energía" suelen oírse con cierta frecuencia y así, en lugar de conceptualizar la energía como una propiedad de un sistema, con frecuencia lo asimilan a un tipo de fluido o sustancia transformable.

Después, los estudiantes aprenden cómo puede entenderse la conservación de la energía en los casos de fuerzas disipativas. En este momento, los conceptos de calor y disipación de la energía suelen introducirse con menos precisión. El calor es algunas veces contemplado como energía y en particular, como energía interna.

Expresiones algebraicas como: $E_{c1} + E_{p1} = E_{c2} + E_{p2} + Q$ no son difíciles de encontrar

De repente pues, ha aparecido un nuevo tipo de energía basándose en que los estudiantes ya conocen lo que es el calor a partir del vocabulario familiar.

Al cabo de unos temas, quizás desde un punto de vista termodinámico, Q se define como algo distinto y a la vez se introduce un nuevo concepto: energía interna.

Con frecuencia, el concepto de energía interna no se relaciona con las llamadas únicas formas de energía: energía cinética y potencial. Puesto que la Termodinámica no necesita de la existencia de partículas para la función energía interna, no es necesaria conexión alguna con la energía cinética y potencial de las partículas.

Así, los estudiantes aprenden un concepto general de energía desde la Mecánica y no saben como establecer un puente entre él y los conceptos introducidos desde la Termodinámica.

La desconexión entre los diferentes enfoques del concepto de energía y la forma confusa de referirse a calor, energía interna, a transformaciones de energía y formas de energía

pueden llevar a equívocos. Una vez más constatamos la necesidad y la dificultad de ser precisos en el uso de los términos empleados en la enseñanza, en especial para los más principiantes.

6.2. Concepciones globales entorno la 2ª. ley

Los cuestionarios Q-3A y Q-3B contienen 15 preguntas y 7 subpreguntas que pretendían conocer como los estudiantes conceptualizan la 2ª Ley.

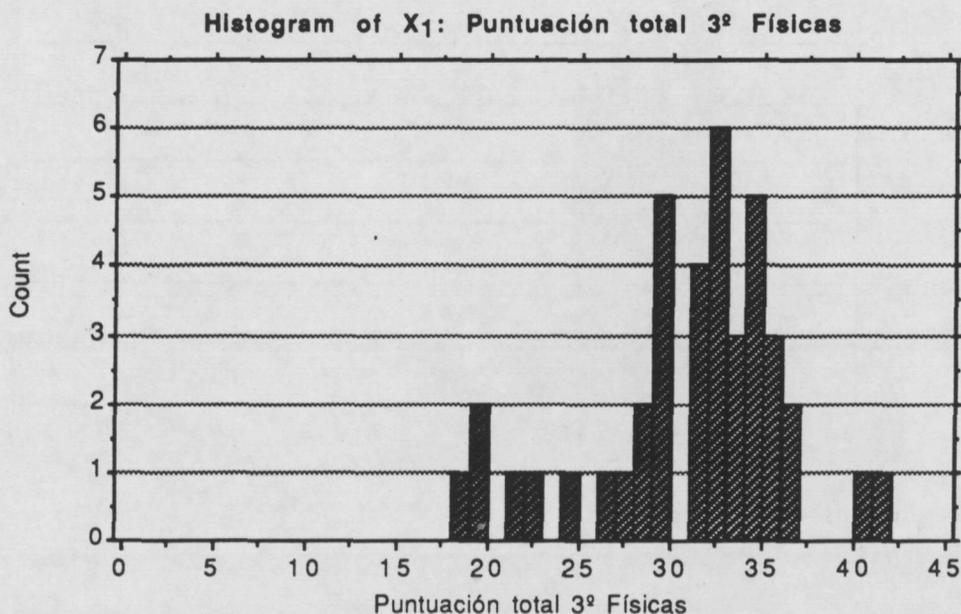
6.2.1. Valoración de los conocimientos de la 2ª Ley por parte de los estudiantes de la muestra

Para poder comparar los resultados obtenidos por diversos estudiantes nos es necesario obtener una puntuación global de cada uno. Para conseguirlo hemos asignado un 2, 1 o 0 a cada una de las categorías, ya descritas en el capítulo 5, resultantes de las codificaciones de las diferentes cuestiones.

Los resultados obtenidos por cada estudiante se encuentran en el Anexo.

Veamos los histogramas de frecuencias de las puntuaciones totales para cada nivel.

Para los estudiantes de 3º de Físicas:



La suma de todas las puntuaciones para los 40 alumnos de 3º de Físicas es 1220, que equivale a un promedio de 30,5 con una desviación standard de $\sigma = 5.3$

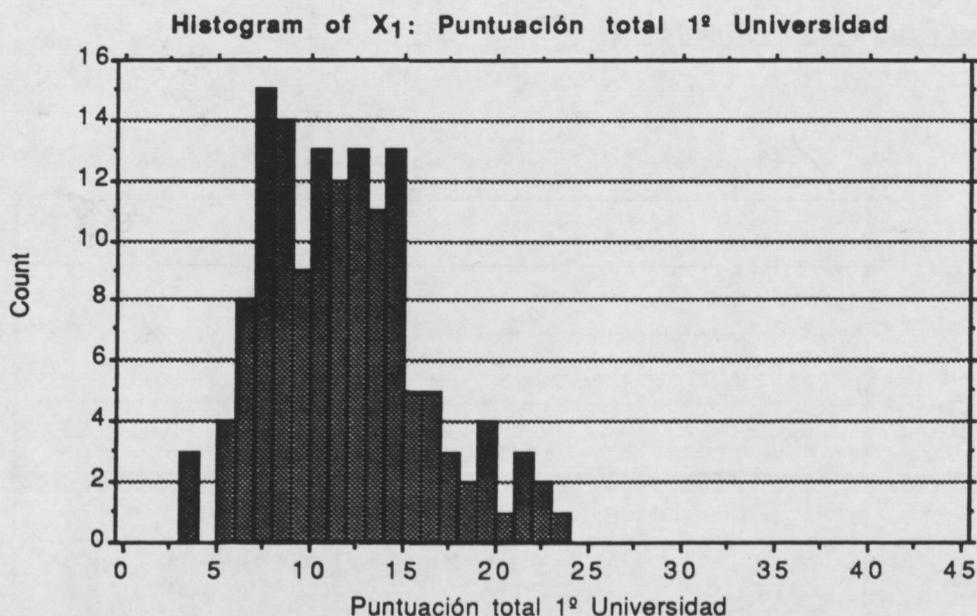
La puntuación máxima posible era de 44 puntos para el estudiante que obtuviera la máxima puntuación en todas las cuestiones. La puntuación más elevada que se ha obtenido es de 41 puntos, conseguida sólo por un estudiante. Esto representa haber respondido bien el 93.2% de las cuestiones.

La menor puntuación, también obtenida sólo por un estudiante, ha sido de 18 puntos. Por lo tanto, el rango es de 23 y no hay ningún estudiante de 3º de Físicas que no haya respondido correctamente como mínimo un 40% de las cuestiones.

La cuarta parte de los ha estudiantes han respondido correctamente menos de 2/3 de las cuestiones.

Aproximadamente la mitad de los estudiantes (18/40) han obtenido puntuaciones entre 29 y 33, es decir, han repondido correctamente entre un 66% y un 75% de las cuestiones referentes a la 2ª Ley. Un 5% han obtenido puntuaciones que representan al menos un 90% de respuestas correctas.

Para los estudiantes de 1º de Ciencias:



La suma de todas las puntuaciones para los 141 estudiantes de 1º de Ciencias es de 1586, que equivale a un promedio de 11.2 con una desviación standard $\sigma = 4.3$. La puntuación máxima posible era también de 44 puntos. La puntuación más elevada ha sido de 23 puntos, conseguida por un solo estudiante y representa haber respondido bien un 52.2% de las cuestiones. No hay ningún estudiante de 1º de Ciencias que haya respondido

correctamente más de un 52.2% de las cuestiones. La menor puntuación, obtenida por tres estudiantes, ha sido de 3 puntos, que equivale a menos de un 7% de respuestas acertadas.

Las puntuaciones más frecuentes oscilan entre 7 y 14 puntos, es decir, la mayor parte de los alumnos de 1º de Ciencias han respondido bien entre un 16% y un 32% de las cuestiones referentes a la 2ª Ley.

Aproximadamente la mitad de los estudiantes (66/141) han obtenido puntuaciones inferiores a 11 puntos, es decir un 25% de respuestas correctas.

Si comparamos los dos histogramas observamos, como era de esperar, un gran desplazamiento hacia la izquierda por parte de los estudiantes de 1º. La puntuación mínima obtenida por un estudiante de 3º forma parte de la franja de puntuaciones máximas de 1º, sólo superada por 11 estudiantes de los 141.

Esto nos muestra un gran desconocimiento de la 2ª Ley de la Termodinámica por parte de los alumnos de 1º de Ciencias. Por esta razón, en los análisis posteriores y más detallados sólo nos ocuparemos de las concepciones de los alumnos de 3º de Físicas.

6.2.2. Valoración de las respuestas a las diversas cuestiones por parte de los estudiantes de 3º de Físicas

No todas las preguntas han sido respondidas correctamente por un número similar de estudiantes de 3º. Algunas han sido bien contestadas por la gran mayoría de los estudiantes mientras que otras han sido bien respondidas por muy pocos. (Ver Anexo)

Las cuestiones bien respondidas por más de un 75% corresponden a aspectos preguntados en un contexto científico y por lo tanto, a temas tratados explícitamente en las clases de Física (como las codificadas por Gi, Hi, W''i, K'i, Li, L'i, Ci,Di, E'i).

Las cuestiones que un menor número de estudiantes han respondido correctamente son las relacionadas con el concepto de energía disponible tanto aplicado a un sistema concreto (Mi) como tratado en términos abstractos (Zi). También corresponden al grupo de preguntas peor respondidas la cuestión que pregunta por la utilización del concepto de entropía en situaciones cotidianas (Fi 1º, Fi 2º).

De las 22 preguntas alrededor de la 2ª Ley, las 10 más frecuentemente bien respondidas corresponden al cuestionario Q-3A.

Las otras cuestiones hacían referencia a situaciones preguntadas en un contexto cotidiano (codificadas con W'i, Xi, U'i, Yi, V'i, W''i, Ei, Ti, Ki) y con una sola excepción todas corresponden al cuestionario Q-3B.

En cuanto a los alumnos de 1º no podemos ver ninguna regularidad en la frecuencia de respuestas correctas o incorrectas. Algunas de las cuestiones han sido bien respondidas por menos de un 10% de los estudiantes; en concreto la cuestión que hacía referencia a identificar con la 2ª Ley el enunciado de Clausius solo ha sido respondida correctamente por un 3.2% de los estudiantes de 1º. Es natural este porcentaje dado que el enunciado de Clausius de la 2ª Ley de la Termodinámica no se suele enseñar antes del 1er curso de Universidad. Una vez más nos damos cuenta que no podemos profundizar en la comprensión de los estudiantes de 1º de Universidad acerca de la 2ª Ley, ya que casi no ha sido tema de estudio para ellos.

6.2.3. Índice de discriminación de las cuestiones.

Si, como hemos visto algunas cuestiones han sido bien o mal respondidas por la gran mayoría de los estudiantes, nos podemos preguntar hasta que punto dichas cuestiones discriminan entre unos y otros. Las cuestiones que discriminan nos han de permitir ordenar los alumnos de mejores a peores. Las que no discriminan nos darían un grupo homogéneo de estudiantes.

Hemos hecho el estudio para los 40 estudiantes de 3º de Físicas. Por las razones antes expuestas no hemos considerado la muestra de estudiantes de 1º de Universidad. Conociendo la puntuación total obtenida por los 40 estudiantes de 3º podemos dividir el grupo en tres partes iguales desde la mayor a la menor puntuación.

Así se obtiene:

Grupo T (Top) - los 13 estudiantes con más alta puntuación total

Grupo M (Middle) - los 14 estudiantes con mediana puntuación

Grupo L (Low) - los 13 estudiantes con menor puntuación total

Hay que calcular para cada cuestión:

- qué porcentaje de estudiantes del grupo T tienen una puntuación máxima en aquella cuestión (es decir, tienen asignado un 2 en aquella cuestión), - qué % del grupo M tienen una puntuación máxima en aquella cuestión y lo mismo para el grupo L.

Si una cuestión discrimina, habrá más alumnos del grupo T que del grupo M y éstos serán más que los del grupo L que habrán respondido con toda corrección a la cuestión.

Si una cuestión no discrimina será poca o nula la diferencia entre los que, obteniendo una puntuación máxima, son del grupo T, M o L. La diferencia mínima que hemos considerado que permitía decir si discrimina o no una pregunta es del 5%. (Ver Anexo)

Así hemos podido establecer que discriminan las cuestiones que tienen como códigos: Hi, K'i, Li, E'i, W'i, V'i, U'i, Xi, W'i, Fi 2ª, Zi.

Teniendo presentes sólo las puntuaciones obtenidas en estas cuestiones que discriminan, hemos podido ordenar los estudiantes de una manera significativa.

Los estudiantes de 3º de Físicas han quedado ordenados y agrupados de la siguiente manera:

Grupo A (Mejores alumnos): 2, 40, 29, 5,23, 32, 39, 37, 34, 12, 21, 4, 36.

Grupo B (Alumnos medianos): 35, 30, 14, 19, 13, 16, 24, 22, 38, 25, 1, 7, 17,

3.

Grupo C (Alumnos más flojos): 31, 18, 27, 6, 10, 8, 33, 15, 9, 20, 26, 28, 11.

Esta clasificación hará posible cruzar los niveles obtenidos por cada estudiante en una determinada cuestión, es decir, nos permitirá constatar si los mejores alumnos (o los del grupo B o del C) han respondido mejor a cada una de las cuestiones. En definitiva, nos permitirá conocer la coherencia y consistencia en las concepciones de los estudiantes.