

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

6.2.4. Análisis cualitativo de las concepciones entorno a la 2ª Ley

Como hemos dicho los cuestionarios Q-3A y Q-3B contenían diversas preguntas que los estudiantes tenían que responder formulando, reconociendo o aplicando de una forma u otro la 2ª Ley de la Termodinámica.

Podemos sintetizar los resultados obtenidos, es decir, la percepción de esta Ley para los estudiantes de los cursos analizados: como la enuncian, como la reconocen, como la aplican.

6.2.4.1. Enunciar la 2ª Ley

En la cuestión 4-Q-3A "Explica tan claramente como puedas qué dice la 2ª Ley" hemos podido constatar que la respuesta más popular es para los estudiantes de 3º Físicas el enunciado de Kelvin-Planck (en un 40%) seguido del enunciado sobre los argumentos de entropía en los procesos irreversibles de sistemas aislados (32.5%). Esta última es también la respuesta más frecuente para los alumnos de 1º de Ciencias (41.8%) y prácticamente la única respuesta correcta que saben dar. También un 12.5% de los estudiantes de 3º dan como primera formulación del significado de la 2ª Ley el enunciado de Clausius.

F. Koenig considera y muestra que la más general y globalizadora de las formulaciones de la 2ª Ley es: "*Todos los procesos naturales, y algunos de cuasiestáticos, son irreversibles*". Si aceptamos este punto de vista, podríamos decir que todas las respuestas de los estudiantes son parciales, es decir, no engloban todos los aspectos de la 2ª Ley.

Otro aspecto curioso es constatar que "explicar tan claramente como se pueda" la 2ª Ley pueda hacerse utilizando el concepto de entropía de este modo: "*La entropía es una función monótona creciente con el tiempo*" (11-3º).

6.2.4.2. Reconocimiento de la 2ª Ley

Las formulaciones dadas por los alumnos ante la pregunta directa sobre el significado de la 2ª Ley, no implican que los estudiantes desconozcan otras maneras de formularla o no sepan reconocerla en situaciones diversas.

Así, por ejemplo, a la cuestión 10-Q-3A (entorno a la dirección de la transferencia de calor en el contacto de un cuerpo caliente con uno de frío), un 71.5% de los estudiantes de 3º de Físicas afirman que el enunciado de Clausius es una de las formas de formular la 2ª Ley. Sólo un 6.35% de los alumnos de 1º Ciencias lo conocían.

En otras cuestiones (3, 6 y 8 de Q-3A y 6, 7, 8, 9, 10 y 11 de Q-3B) también, con cierta frecuencia, encontramos estudiantes que reconocen la 2ª Ley y lo explicitan. (Ver capítulo 5).

6.2.4.3. Aplicación de la 2ª Ley para explicar procesos irreversibles

Se ha observado si los estudiantes, preguntados por ciertos procesos irreversibles, dan alguna explicación relacionándola con la 2ª Ley. Al comparar los resultados en diferentes cuestiones, podemos decir que alrededor de la mitad de los alumnos de 3º de Físicas y menos de un 10% de los de 1º son capaces de hacerlo. Así:

Sobre el porqué una piedra caída al suelo no puede disponer de la energía inicial para volver a subir, un 40% de los alumnos de 3º Físicas y un 7% de los de 1º Físicas dan una respuesta aplicando la 2ª Ley en alguna de sus vertientes. *"La piedra por sí sola no puede volver a subir porque sería ir en contra la 2ª Ley de tendencia a la entropía máxima"* (10-3ºFis).

Sobre la posible reutilización de la energía procedente de la gasolina de un coche que ha llegado al final de su trayecto: un 60% de los estudiantes de 3º Físicas, un 2% de los de 1º de Ciencias y un 5% de los de 1º de Físicas razonan a partir de algún aspecto de la 2ª Ley. *"La energía disipada en Q es irrecuperable, el 2º principio lo impide"* (1-3º) *"La energía tiende a transformarse en formas menos utilizables, haciendo crecer el desorden del Universo"* (104-1º).

Este 60% superior al 40% en la cuestión de la piedra era esperable ya que el motor de un coche es fácilmente comparable a una "máquina térmica" y ya hemos constatado que el enunciado de Kelvin-Planck es el que con más frecuencia dan como 2ª Ley.

El hecho que la caída de una piedra sea a menudo objeto de estudio desde el campo de la Mecánica también explica la menor relación de esta cuestión con los conceptos propios de la Termodinámica.

Esta es también la situación con la que nos encontramos en la cuestión sobre el reloj al que se que dar cuerda. Unos porcentajes similares, un 45% de los estudiantes de 3º y un

7.1% de los de 1^º, explicitan que de la irreversibilidad de tensión en la cuerda del reloj nos da cuenta de la 2^a Ley. "Implicaría un orden al que ningún sistema no evoluciona nunca. Está relacionado con la 2^a Ley, ya que todo sistema evoluciona en el sentido del desorden, es decir, ΔS aumenta" (122-1^º), "La segunda Ley prohíbe que el reloj se de cuerda a sí mismo" (32-3^º Fis).

6.2.4.4. Aplicación de la 2^a Ley para explicar la tendencia de los procesos espontáneos

Diversas cuestiones de los cuestionarios (10-Q-3A y 9, 10 y 11-Q-3B) pretendían conocer como los estudiantes explican la tendencia de que ciertos procesos espontáneos se produzcan.

Los procesos eran:

- a) Un objeto caliente en contacto con uno más frío se enfría
- b) El hielo se funde a temperatura ambiente
- c) El humo se esparce de una habitación a otras
- d) El hierro se oxida al aire libre
- e) La cuerda de un reloj se desenrosca

a) Un objeto caliente en contacto con uno más frío se enfría

Como hemos podido constatar en el capítulo V, los estudiantes de 3^º responden mayoritariamente haciendo uso de la 2^a Ley de la Termodinámica para dar explicación de que un objeto caliente en contacto con uno más frío se enfría hasta llegar los dos a la misma temperatura. Un 77.5% de los alumnos de 3^º responden así (ante un 6.3% de los estudiantes de 1^º de Universidad).

Sería necesario tener presente que esta cuestión hace referencia a un tema que ha sido objeto de estudio con términos muy similares, en clases de Termodinámica (momento del año en que se pasó el cuestionario). Los porcentajes son inferiores en otras cuestiones. Los estudiantes de 1^º no han tenido como objeto de estudio el enunciado de Clausius.

b) El hielo se funde a temperatura ambiente

La tendencia a fundirse el hielo cuando se le coloca a temperatura ambiente es explicada utilizando conceptos referidos a la 2ª Ley de la Termodinámica (términos de aumento de entropía o de orden o, disminución de energía libre) por un buen porcentaje -62.5%- de los estudiantes de 3º y un porcentaje inferior, pero no muy pequeño -33.3%- de los de 1º de Universidad

Tres pueden ser las causas de este porcentaje relativamente elevado para 1º Universidad, muy superior al de la cuestión anterior:

- disponer de la noción de orden-desorden que tienen los estudiantes
- la familiaridad en el estudio del fenómeno de la fusión del hielo
- el estudio en Química del concepto de energía libre y de entropía
- el desconocimiento del enunciado de Clausius por no haber sido aún objeto de estudio en 1º

c) El humo se esparce de una habitación a otras.

La tendencia del humo a esparcirse de una habitación a las contiguas. La expansión libre de un gas es también frecuentemente objeto de estudio al introducir el concepto de entropía. Por lo tanto, parecería que la mayoría de estudiantes de 3º explicarían la tendencia del humo a escaparse haciendo una analogía humo entre habitación cerrada-gas en recipiente con compartimiento. Pero en esta cuestión, con cierta frecuencia, los estudiantes han recurrido más a explicaciones basadas en propiedades de los gases que a explicaciones de tendencias de los procesos. *"Por razones aleatorias, las colisiones entre las moléculas llevan a las moléculas a las zonas menos ocupadas"* (23-3º), *"Hay un gradiente de densidad del aire, entonces se produce un trabajo para que este gradiente sea cero"* (11-3º Fis) *"Lo que sucede es que el humo está concentrado en una habitación y como es un gas, si tiene espacio tiende a expansionarse para estar más libre y moverse mejor"* (14-1º).

Por otra parte, aproximadamente la mitad de los alumnos de 3º -un 52.5%- han respondido aplicando los conceptos de entropía o de "desorden" para dar explicación a esta tendencia del humo a esparcirse. *"La entropía del humo ha aumentado en expansionarse por las habitaciones. El sistema es aislado. Podemos decir que la 2ª Ley lo provoca"* (2-3º Fis). En cuanto a los alumnos de 1º, un 15.6% hace uso de estos conceptos. *"Este proceso se produce porque las moléculas tienden al desorden y cuanto más espacio ocupen más desordenadas estarán, la entropía será mayor"* (83-1º).

Se podría pensar que la cuestión era suficientemente abierta para dar pie a ser contestada pensando en la movilidad molecular, en la variabilidad de volumen de los gases, etc.... Pero el porcentaje se mantiene en otra de las cuestiones en que explícitamente se solicitaba que fuera contestada mediante los términos de energía, de entropía o de energía libre. Nos referimos a la cuestión 11-Q-3B.

d) El hierro se oxida al aire libre.

¿Qué desencadena que el hierro al aire libre se oxide? se preguntaba en la cuestión 11-Q-3B. También alrededor de la mitad -52.5% de los alumnos de 3º- responden aplicando la 2ª Ley de la Termodinámica mientras que los otros pretenden explicar la tendencia a producirse este proceso mediante descripciones de los cambios químicos o de las transferencias de energía. Los conceptos de energía libre y de entropía, muy útiles para explicar los cambios químicos, se enseñan con frecuencia a los alumnos de 1º de Química. Esto puede explicar que un porcentaje relativamente alto -un 20%- de estos alumnos respondan utilizándolos. *"Es un proceso espontáneo porque en su transcurso se produce un incremento de entropía del universo y una disminución de la energía libre del sistema"* (125-1º).

Otros dan explicaciones de la tendencia como: *"El hierro forma enlaces con el oxígeno y por esto se oxida"* (51-1º)

e) La cuerda de un reloj se desenrosca

La tendencia a desenroscarse es explicada en términos de la Mecánica por la gran mayoría de los estudiantes tanto de 3º de Físicas como de 1º de Universidad. *"Cuando haces una fuerza sobre un muelle, éste hará una fuerza en sentido contrario e irá desenroscándose"* (25-3º Fis). *"Cuando ya está enroscada hay una fuerza que hace que vuelva a la posición inicial"* (7-3º Fis). *"Es la transformación de energía en trabajo que hace que haya esta tendencia a que el reloj funcione mientras se desenrosca la cuerda"* (26-3º Fis).

Sólo un 12.5% de los de 3º razona en términos propios de la Termodinámica y un 2.8% de los de 1º. Podemos encontrar frases como: *"El estar enroscada no es el estado al que espontáneamente evolucionará ya que no implica mayor entropía (es un estado más ordenado que el estar desenroscado) en unas condiciones normales"* (14-3º Fis).

6.2.4.5. Irreversibilidad y tendencias

Si comparamos los porcentajes en las diferentes cuestiones, constatamos que los estudiantes de los dos cursos son más capaces de dar cuenta de la irreversibilidad aplicando la 2ª Ley de la Termodinámica que de explicar la tendencia de que se produzcan procesos espontáneos.

Es revelador que diversos alumnos hayan respondido a diversas partes de una misma cuestión utilizando criterios diferentes. Por ejemplo, la tendencia a desenroscarse la cuerda es explicada *"Porque el sistema tiende a un estado de mínima energía"* (12-3º Fis) mientras que la irreversibilidad o imposibilidad (gran improbabilidad) de que la cuerda vuelva a enroscarse por sí sola es explicada *"porque se ha producido transformaciones de energía en calor y ésta no puede volverse a utilizar para realizar un trabajo"* (12-3º). Después dice que este hecho *"está relacionado con la 2ª Ley que establece la imposibilidad de una completa conversión, en un proceso cíclico de calor en trabajo"*.

Si la irreversibilidad se explica por degradación de la energía, es decir, si se está razonando en términos de incoherencia o manera "desordenada" de distribuirse la energía, parecería lógico que la tendencia de los procesos se explicase por la tendencia a aumentar el número de microestados accesibles, es decir, por tendencia a aumentar la entropía o por tendencia a la homogeneidad o al equilibrio. Algunos alumnos lo hacen, pero, la mayoría no.

6.2.4.6. La tendencia a la mínima energía

En diversas cuestiones en que se pide la explicación de un proceso hemos podido observar que bastantes alumnos responden "por la tendencia a la mínima energía". Es difícil, en algunas ocasiones, dilucidar si el estudiante está haciendo referencia a la 2ª Ley como lo hace Callen (1960): *"El principio de la entropía máxima es equivalente al principio de la mínima energía. Mínima energía implica máxima entropía y máxima entropía implica mínima energía"*.

De todas formas, la expresión "los sistemas tienden a la mínima energía" es al menos confusa sino incierta. ¿De qué energía se trata? ¿A qué sistemas es aplicable? La energía de un sistema aislado no aumenta ni disminuye, se conserva. Dar por explicación que la energía potencial tiende a disminuir puede hacerse en sistemas de pocas partículas y siempre que no consideramos la fricción. Pero cuando tratamos con sistemas de innumerables partículas es otra la interpretación que es necesario dar.

Así J. Ogborn (1985), al referirse a como hay que explicar ciertos procesos, dice:

Tenemos que distinguir dos problemas de tipos bien diferentes:

Primero, consideremos problemas de pocos cuerpos tales como una pelota lanzada al aire o una masa suspendida de un muelle (despreciando amortiguamientos). Podemos decir (si pensamos clásicamente) que aquí la causa del cambio es una fuerza. Pero las fuerzas se expresan también por las variaciones espaciales de la energía potencial (la fuerza es el gradiente negativo del potencial). Por lo tanto, en este sentido, la pelota en el aire cae o sube menos rápidamente porque su energía potencial aumenta con la altura. (En la Física de nuestro siglo, las fuerzas se reemplazan por funciones de la energía tales como el Hamiltoniano).

Ahora consideremos problemas de muchos cuerpos, tales como el enfriamiento de una habitación caliente cuando el calor se va o el movimiento de una pelota al aire si tenemos en cuenta la resistencia del aire o los choques inelásticos. Ahora es necesario un nivel diferente de explicación. Ahora, la dirección de los procesos tiene que entenderse como la que aumenta el número de ordenamientos internos del sistema, es decir, la que aumenta la entropía. Por lo tanto, la pelota cae desde cierta altura y termina parada en el suelo no porque esto reduzca la energía potencial al mínimo sino porque esto aumenta el número de maneras de distribuirse la energía entre las moléculas de la pelota y del suelo. Entre los dos tipos de problema, el concepto de trabajo cambia su significado. En el primero es "fuerza por distancia" pero en el segundo es "intercambio de energía sin cambio de entropía". Así pues, fregando con papel de vidrio una madera se realiza trabajo en el primer sentido pero no en el segundo ya que desde un punto de vista termodinámico estamos "proporcionando calor", no realizando trabajo sobre la madera. De forma similar, una pelota que cae sin fricción sometida a la gravedad (antes de chocar con el suelo no está cambiando la entropía y se realiza trabajo en los dos sentidos.

Por el contrario en el segundo tipo de problema, no podemos decir que la energía impulse el cambio. Lo que lo impulsa es el aumento de entropía.

La tendencia a desenroscarse la cuerda del reloj es explicada por un 55% de los estudiantes de 3º y un 4.3% de los de 1º por esta tendencia a la mínima energía. En la mayoría de los casos no podemos ver si estos alumnos están refiriéndose a la energía potencial de la cuerda tensada y qué elementos integran el sistema al que aluden.

Si consideramos como sistema la cuerda con las agujas del reloj y todos los elementos circundantes, la progresiva disminución de energía potencial elástica de la cuerda va acompañada de un aumento de energía de movimiento de los mecanismos y agujas y

progresivamente de la energía interna de todos los elementos del sistema. La energía ha quedado distribuida en muchas partículas, hemos pasado de coherencia a la incoherencia (como decíamos en el capítulo 1). Decir que ahora la energía es menor sólo es posible delimitando el sistema a la cuerda.

Para expresar el paso a un estado de mayor incoherencia o desorden sería más lógico que apelásemos a pasar a un estado de mayor entropía. Pero, la expresión "tendencia a la mínima energía" está muy arraigada.

Incluso, hemos podido observar que el 5% de los estudiantes de 3º y un 6.3% de los de 1º dan explicación "por la tendencia a la mínima energía" en algunos casos tan inimaginables como para el proceso descrito en el enunciado de Clausius. La pregunta era: "Si ponemos en contacto un cuerpo caliente con uno de más frío, ¿porque el calor tiende a pasar del caliente al frío y no al revés?" Encontramos respuestas como: "*La energía final del sistema sería mayor que la inicial y un sistema no aumenta espontáneamente su energía (siempre tiende a un mínimo)*" (35-3º Fis) "*Porque el cuerpo frío tiene menos energía que el caliente y éste tiende a poseer la mínima energía cediendo calor*" (69-1º).

6.2.4.7. La tendencia al equilibrio y al desorden

Hemos observado repetidamente que los razonamientos o las explicaciones sobre procesos están basados más a menudo en conceptos propios de la Mecánica que de la Termodinámica.

Ideas que aparecen con cierta frecuencia en los escritos de los estudiantes son: la tendencia al equilibrio, la tendencia a la estabilidad y la tendencia a la homogeneidad.

Podríamos pensar que, como dice Callen, pueden darse diversas formulaciones equivalentes o que son consecuencia del principio de la máxima entropía y de las cuales los estudiantes hacen uso. Por ejemplo, dice Callen: "*El principio de Chatelier es el nombre para designar el contenido físico de los criterios de estabilidad. El criterio de estabilidad es: Toda inhomogeneidad que de alguna forma se produce en un sistema ha de inducir un proceso que tienda a erradicar la inhomogeneidad*".

Pero lo que observamos en los estudiantes no está casi nunca en esta línea. Un solo estudiante de 1º, y ninguno de 3º, asocia el concepto de entropía con el equilibrio de los sistemas cuando se trata de hacer asociaciones libres añadiendo el término entropía (cuestión 5-Q-3A).

Para algunos estudiantes, como hemos visto en el capítulo 5, la tendencia al equilibrio es considerada una tendencia al orden y a la disminución de entropía. La tendencia al equilibrio, a la homogeneidad o a la estabilidad no son contempladas como tendencias a un estado de un mayor número de microestados, a un estado que llamamos de mayor desorden.

Cuando un estudiante, especialmente de los cursos inferiores, habla de la tendencia al desorden o al caos no suele darle la misma interpretación que en Termodinámica. De otra forma no podría sorprenderles la asociación entre desorden o equilibrio.

Los términos desorden y caos están impregnados en nuestra cultura de un sentido moral. También lo está el término equilibrio pero con una valoración contraria.

Entre los estudiantes analizados, no es frecuente considerar que la situación más probable a la que tienden los sistemas aislados es la del equilibrio. Utilizar los términos equilibrio, homogeneidad para asociarlos a incoherencia o desorden supone ser capaz de separarse del sentido que en el lenguaje cotidiano se da a estos términos y darles el sentido que se da en el lenguaje simbólico (utilizamos la terminología de Solomon).

Nuestros estudiantes pueden hablar de tendencia al desorden o de tendencia a la máxima entropía para resolver algunas cuestiones. Pueden también hablar de tendencia al equilibrio, a la homogeneidad o a la estabilidad en otras cuestiones. Pero la integración de los dos tipos de expresión no se da. La ruptura con el lenguaje cotidiano o, mejor, el entrecruzamiento del lenguaje simbólico con el cotidiano-moral que supondría esta integración, no se ha podido observar en nuestros estudiantes.

Por esta razón, cuando hablan de tendencia al equilibrio o de tendencia a la estabilidad, hay que entender "evolución hacia una situación permanente, sin más alteración o cambio". Para ellos, la 2ª Ley no hace referencia a estas tendencias.

Ya se presagiaba esta conclusión cuando en la cuestión 5a-Q-3A la gran mayoría de estudiantes de ambos cursos sólo utilizaban el término entropía aplicándolo a un contexto abstracto o formal.

6.2.5. Las interconexiones entre las diferentes formulaciones de la 2ª Ley. en los estudiantes de 3º de Físicas

Como es bien sabido la 2ª Ley puede enunciarse de diversa maneras. A los estudiantes de 3º de Físicas se les ha enseñado la equivalencia entre los diferentes enunciados. Así pues si su aprendizaje ha sido significativo, serán capaces de relacionar los conceptos implícitos en cada uno de los enunciados (trabajo, entropía, degradación, calor, desorden etc). Para conocer como los estudiantes relacionan estos diferentes conceptos se ha hecho lo siguiente:

- a) Definir cuáles son las posibles relaciones
- b) Observar la frecuencia con que los estudiantes utilizan tales relaciones.

Para ello, hemos tomado la muestra de 40 estudiantes de 3º de Físicas, el único grupo al que se le ha enseñado todos estos aspectos.

Pasemos a especificarlos:

a) Las posibles interrelaciones que los estudiantes pueden establecer.

Hay 15 tipos que pasamos a enumerar:

Dg-QW: Los estudiantes deben relacionar degradación de la energía con la posibilidad de hacer uso de toda la energía procedente de una fuente de calor para hacer trabajo, es decir, con la imposibilidad de aprovechar completamente energía con escasa coherencia para realizar trabajo.

Dg-2ªL: Relacionar degradación de la energía con la 2ª Ley.

Dg-ΔS: Relacionar degradación de energía con aumentos de entropía.

Dg-Or: Relacionar degradación de energía con aumentos de desorden o incoherencia

Dg-Pr: Mención de la tendencia de los procesos a evolucionar hacia situaciones o estados con energía degradada.

QW-2ªL: Relacionar la 2ª Ley con la imposibilidad de utilizar toda la energía procedente de una fuente de calor para realizar trabajo.

QW-ΔS: Relacionar la asimetría calor-trabajo con los aumentos de entropía.

QW-Or: Se relaciona la imposibilidad de aprovechar toda la energía dispersada mediante calor para hacer trabajo con la tendencia al desorden o a la incoherencia hacia la que evolucionan los sistemas.

QW-Pr: Relacionar la dirección de los procesos, la tendencia hacia el equilibrio o la irreversibilidad de los procesos con la imposibilidad de que el sistema pueda disponer de toda la energía procedente de una fuente de calor para realizar trabajo.

2^aL-ΔS: Relacionar la 2^a Ley con los aumentos de entropía

2^aL-Or: Relacionar la 2^a Ley con el desorden, es decir, con distribuciones más homogéneas.

2^aL-Pr: Relacionar la 2^a Ley con la evolución de los procesos

ΔS-Or: Relacionar los aumentos de entropía con desorden, homogeneidad o equilibrio.

ΔS-Pr: Relacionar los aumentos de entropía con la tendencia de los procesos a evolucionar irreversiblemente hacia el equilibrio, la homogeneidad.

Or-Pr: Relacionar el desorden o equilibrio con la evolución de los procesos.

b) Hemos indagado cuántas relaciones se daban en las respuestas de los estudiantes en sus respuestas a las diferentes cuestiones acerca de la 2^a Ley.

(En el Anexo puede verse la matriz de 15 x 40 con las 15 posibles relaciones y los 40 estudiantes de 3^o de Físicas)

Los resultados quedan sintetizados en la siguiente tabla:

	Dg	QW	2aL	Δs	Or	Pr
Dg	-	33	22	12	12	13
QW	33	-	25	1	1	11
2aL	22	25	-	29	14	35
Δs	12	1	29	-	39	36
Or	12	1	14	39	-	26
Pr	13	11	35	36	26	-

Los números de la tabla corresponden al número de alumnos que ha establecido cada una de las posibles relaciones.

Constatamos que algunas de las relaciones son muy populares mientras otras son citadas por escaso número de estudiantes. Esto no significa que no sean capaces de relacionar los conceptos implicados sino simplemente que no lo hacen.

Podemos clasificar y ordenar las relaciones citadas por más de 2/3 de los estudiantes, entre 2/3 y 1/3, menos de 1/3 de los estudiantes:

Más del 66% de los estudiantes invocan las relaciones:

1. ΔS -Or: Cambio de entropía - Orden (citada por 39 estudiantes)
2. ΔS -Pr: Cambio de entropía - Evolución de los procesos
3. 2ª L-Pr: 2ª Ley - Evolución de los procesos
4. Dg-QW: Degradación de la energía - Realización de trabajo a partir de fuente de calor
5. 2ª L- ΔS : 2ª Ley - cambios de entropía

Menos de 66% y más de 30 % de los estudiantes mencionan las relaciones:

6. Pr-Or: Tendencia de los procesos hacia el desorden, la homogeneidad, la estabilidad
7. 2ª L-QW: 2ª Ley - QW
8. 2ª L-Dg: 2ª Ley - Degradación de la energía
9. 2ª L-Pr: 2ª Ley - Tendencia al desorden, equilibrio

10. Pr-Dg: Tendencia de los procesos hacia la degradación de energía

Menos de un 30% de estudiantes se refieren a las relaciones:

11. Dg- ΔS : Degradación de energía - Aumento de entropía
12. Dg-Or: Degradación de energía - Tendencia al desorden
13. Pr-QW: Evolución de los procesos hacia estados en que disminuye la posibilidad de utilizar la energía procedente de un foco de calor para realizar trabajo.
14. ΔS -QW: Aumentos de entropía e imposibilidad de utilizar toda la energía de una fuente de calor para realizar trabajo
15. Or-QW: Aumento del desorden o la homogeneidad - imposibilidad para utilizar toda la energía de una fuente de calor para realizar trabajo

La anterior ordenación de frecuencias nos permite concluir que las relaciones más citadas son las que corresponden a un enunciado particular de la 2ª Ley (como es ΔS -Or). Por el contrario, los estudiantes raramente invocan simultáneamente conceptos que corresponden a dos enunciados distintos de la 2ª Ley (por ejemplo: ΔS -Degradación).

Esto es lo mismo que decir que en su mente, cada formulación de la 2ª Ley tiene su propio mundo y los diferentes "mundos" nunca o casi nunca interaccionan.

Estamos interesados también en conocer otro aspecto: ¿Hay alguna conexión entre el número de relaciones que cita cada estudiante y el número de cuestiones que responde correctamente? Podríamos imaginar que los estudiantes que tienen mayores posibilidades de interaccionar los "diversos mundos" correspondientes a cada enunciado de la 2ª Ley, tienen también una mejor respuesta en general a las diversas cuestiones relativas. Después calcularlo podemos decir que tal correlación no existe.

Puede darse que un estudiante haya citado muchas relaciones pero que el número de respuestas correctas sea pequeño. Y viceversa, puede también ocurrir que exprese pocas relaciones y en cambio muchas de sus respuestas a las cuestiones referentes a la 2ª Ley sean correctas. Es decir, existen estudiantes que utilizan pocos enunciados de la 2ª Ley para responder acertadamente a muy diversas cuestiones. También ocurre lo contrario, algunos estudiantes utilizan muy diversos enunciados pero responden erróneamente muchas de las cuestiones en que es necesario aplicar la 2ª Ley.

En otras palabras, el uso de enunciados diversos no es una garantía de que estén bien asimilados para poder ser aplicados.

Podría ocurrir que algunos de los estudiantes citaran tal variedad de relaciones sólo en un contexto científico y que no fueran capaces de utilizarlas para analizar alguna situación cotidiana en particular. Intentaremos conocerlo.

Podemos preguntarnos:

¿De dónde proceden tales relaciones establecidas? ¿En qué casos o situaciones los estudiantes las expresan?

Tales relaciones se han observado a lo largo de las respuestas a las 22 cuestiones relativas a la 2ª Ley. Pero ¿qué condiciones favorecen que los estudiantes relacionen dos enunciados? Depende del contexto? ¿Depende de las palabras incluidas en la cuestión?

Para responder a estas preguntas analizaré una de las más citadas: *Evolución de los procesos - aumentos de entropía*.

Ha sido mencionada por el 90% de los estudiantes.

a) Veamos si el contexto de la cuestión condiciona los resultados:

Hemos visto ya que el cuestionario contiene 5 cuestiones sobre procesos reales tomados como situaciones cotidianas:

Cuestiones 7-Q-3B (piedra caída), 8-Q-3B (coche al final del trayecto), 8-Q-3B (reloj de cuerda), 10-Q-3B (pieza de hierro oxidada), 11-Q-3B (humo que se esparce)

Podemos observar cuántos estudiantes expresan a lo largo de las respuestas a estas cuestiones la relación entre evolución de los procesos e incrementos de entropía (citada por el 90%).

Encontramos:

- para la piedra caída: 4 estudiantes: 10%
- para el coche al final del trayecto: 2 estudiantes: 5%
- para el reloj de cuerda: 17 estudiantes: 42.5%
- para la pieza de hierro oxidada: 19 estudiantes: 47.5%
- para el humo que se esparce: 21 estudiantes: 55%

Vemos pues que al preguntárseles en un contexto cotidiano, los estudiantes, en la mayoría de los casos, no dan una respuesta en la que se relacione la evolución de los procesos con los aumentos de entropía. Sólo 4 estudiantes, de 40, en la cuestión 7 y 2 en la cuestión 8 recuerdan que la evolución de los procesos puede ser explicada por la posibilidad o no de que aumente la entropía.

Los anteriores porcentajes están lejos del 90% que habíamos encontrado para el conjunto de las cuestiones. (Los superiores porcentajes para las cuestiones 9,10 y 11 de Q-3B) requieren otra explicación como veremos inmediatamente después)

Es decir, a pesar de que en las 5 cuestiones se preguntaba por la tendencia de los procesos o sobre las razones de su sentido, la gran mayoría que ya habían mencionado o mencionarían la "*evolución de un proceso con los aumentos de entropía*" no expresa tal relación cuando habían de analizar procesos en un contexto cotidiano.

Podemos comparar estos resultados con los que obtienen estos alumnos en las cuestiones preguntadas en un contexto científico (es decir con cuestiones del cuestionario Q-3A).

En la cuestión en que se trataba de enunciar la 2ª Ley, un 90% de los estudiantes referían tal relación "*evolución de un proceso con los aumentos de entropía*". En la cuestión en que debían hacer asociaciones libres utilizando el término entropía también aparece en un 60% tal relación. Por tanto, cuando se les coloca en un contexto científico abstracto, la citan mayoritariamente a pesar de ser situaciones en que no es necesario hablar de evolución de los procesos.

Es decir, cuando no se les pregunta por la evolución de ningún proceso real son más capaces de referirlo y relacionarlo con la entropía que cuando tienen que razonar sobre un hecho cotidiano planteado como tal.

Estas conclusiones están de acuerdo con el trabajo de J.Song y P.Black (1991) sobre los efectos del contexto en el nivel de resultados de los estudiantes. En su trabajo, han demostrado que los estudiantes utilizan mejor el proceso de aplicación cuando se les sitúa en un contexto científico que cuando tienen que aplicar conceptos en un contexto cotidiano.

Nuestros estudiantes muestran mejor capacidad de utilizar la relación "*evolución de un proceso con los aumentos de entropía*" cuando se les pregunta en un contexto científico que cuando se les plantea una cuestión en un contexto cotidiano.

b) Veamos también si las palabras incluidas en el enunciado de una cuestión influyen en el resultado.

En la redacción de las cuestiones 9, 10 y 11 del cuestionario Q-3B incluimos dos palabras: "tendencia" y "procesos".

Podemos recordarlo:

¿Por qué existe esta tendencia a desenroscarse? (referida a la cuerda del reloj, 9-Q-3B)

¿Podrías explicar qué desencadena este proceso? (referida a la oxidación del hierro, 10-Q-3B)

¿Que impulsa este proceso? (referido al humo que se esparce, 11-Q-3B)

Estas palabras "tendencia" y "proceso" forman parte de alguno de los enunciados más utilizados corrientemente para expresar la 2ª Ley en nuestra lengua.

Estas palabras hicieron el efecto previsto. Las tres cuestiones que las incluían, a pesar de estar planteadas en el contexto cotidiano, dieron porcentajes más elevados de mención de la relación. Hemos visto que eran de un 42.5%, 47.5% y 55% respectivamente. Las palabras "tendencia" y "proceso" parecen actuar como palabras clave. Los estudiantes utilizan con más frecuencia el concepto de entropía cuando se les plantea una cuestión que contenga tales términos. Así lo han hecho en las cuestiones 9, 10 y 11 y no lo habían hecho en las cuestiones 7 y 8.

Estas afirmaciones requerirían un estudio con mayor profundidad pero está de acuerdo con los trabajos de diversos psicólogos sobre las asociaciones de palabras.

Resumiendo:

En definitiva, el hecho de que se cite una relación no implica que se sea capaz de aplicarla en una situación con contexto cotidiano. Para responder cuestiones planteadas en un contexto cotidiano, con frecuencia se utilizan explicaciones en un lenguaje común. Muchos de los conceptos que incluyen las diferentes formulaciones de la 2ª ley sólo se relacionan cuando se sitúa al estudiante en un contexto científico. Cuando los relacionan, es probable que el texto de la cuestión incluyera palabras-clave como "tendencia" y "proceso".

Capítulo 7:

ACERCA DE LA CONSISTENCIA DE LAS CONCEPCIONES

Hasta ahora nos hemos referido a las respuestas que estudiantes de diversos niveles universitarios daban a los cuestionarios. Hemos podido comparar las respuestas entre grupos distintos, y, hemos constatado la gran diversidad de respuestas que daban a un mismo problema. Pero, una cuestión subsiste: ¿las mejores respuestas corresponden a un escaso número de alumnos y las más erróneas también? ¿Podemos, en suma, clasificar a los alumnos por su modo de razonar acerca de los conceptos considerados?

7.1 ¿Consistencia o inconsistencia?

Recordemos que los cuestionarios Q-3A y Q-3B contenían 14 y 18 cuestiones acerca de los conceptos implícitos en la 1ª y 2ª Ley de la Termodinámica respectivamente. En diversas situaciones se preguntaba por la conservación de la energía, por su degradación, por el concepto de energía, el de entropía, por su idea de irreversibilidad etc.

Después de analizar los tipos de respuestas dados por estudiantes a las diversas cuestiones, es interesante conocer como es el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre un concepto en concreto. ¿Cómo responde y cómo razona ante cuestiones diferentes acerca de un mismo concepto?

Diversos han sido los trabajos teóricos sobre los conceptos alternativos que expresan los estudiantes. De todos modos, no está suficientemente probado si los estudiantes pueden utilizar un número limitado de "alternative frameworks" y si utilizan alguno de ellos en cada caso o, si por el contrario, el número de tipos de razonamiento es tan diverso que cada estudiante, en cada situación particular, aplica un concepción que puede ser contradictoria con la que ha utilizado antes o la que utilizará en breve plazo. Es decir, ¿son consistentes en sus razonamientos los estudiantes? ¿Podría un estudiante hacer un razonamiento erróneo sobre un concepto y unas líneas antes o después realizar un razonamiento correcto sobre el mismo? ¿Cada uno de los conceptos físicos que se expresan mediante una sola palabra (energía, entropía etc) indican siempre una misma idea para un estudiante en particular? o bien ¿hay situaciones en que a un concepto se le da un determinado significado y otras en que el significado parece ser otro?

Sabemos que los estudiantes utilizan ciertas pautas en su respuesta a una cuestión, pero, ¿cada estudiante utilizará el mismo tipo de argumentación cuando el contexto en que se le plantea una cuestión, sobre un mismo concepto físico, cambia?

Maloney (1985), después de su trabajo acerca de la comprensión de la conservación de la energía, llegó a la conclusión que: *"los estudiantes utilizan estrategias definidas y el número de estrategias empleadas es limitado"* pero también se preguntaba *"¿hasta qué punto están ligados a las reglas que utilizan? La investigación ha mostrado que los estudiantes son reticentes a abandonar sus concepciones alternativas, pero ¿cuán firmemente cree cada estudiante en una regla particular?...Supongamos que un individuo utiliza una estrategia ante una tarea particular, ¿utilizará la misma estrategia la próxima vez que responda a la misma tarea?"*

En nuestro caso, un tipo de definición de energía, ¿significará una manera de resolver las demás cuestiones sobre energía? O bien, ¿una definición correcta sobre la 2ª Ley implicará una manera correcta de aplicarla en una situación concreta? O, los estudiantes que dan cierto tipo de respuesta en una situación concreta ¿darán la misma ante otra situación concreta? O bien, los estudiantes que enuncian en general la 2ª ley de cierto modo, ¿lo utilizan, y lo hacen correctamente en una situación concreta? O bien, el uso del término calor ¿tiene en todas las explicaciones de un estudiante particular el mismo significado?

Es decir, nos preguntamos por la consistencia de los conocimientos y de los razonamientos de los estudiantes. La cuestión a resolver es: ¿El conjunto de respuestas sobre un determinado concepto que corresponden a un mismo estudiante es coherente? Podría ocurrir que a un estudiante le correspondiera una calificación máxima ante cierto concepto y otro tipo de calificación sobre otro concepto.

Si los estudiantes responden el conjunto de cuestiones sobre un concepto particular utilizando diferentes aproximaciones al conocimiento científico, sólo podremos mostrar las incoherencias e intentar imaginar las razones de ello.

Como hemos visto en el capítulo 5, en nuestra investigación, a cada manera de razonar al responder una cuestión se le ha asignado un código. Si los estudiantes son consistentes, la categoría asignada a un estudiante sobre cierta cuestión, sobre la 2ª Ley, por ejemplo, debe correlacionar con las categorías correspondientes a otras cuestiones sobre la 2ª Ley. Por el contrario, si no existe consistencia, una categoría que indica en una cuestión una

buena comprensión de la 2ª Ley no implicará que correlacione con otras categorías que también indiquen una buena comprensión de la 2ª Ley.

Hemos realizado un gran número de pruebas buscando correlaciones y los resultados han sido casi siempre negativos.

Entonces, debemos intentar comprender porque al cruzar resultados obtenemos tales frustrantes conclusiones.

Para ello pasamos a analizar el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre los siguientes 5 aspectos:

- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre el concepto de trabajo
- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre el concepto de calor
- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre el concepto de energía
- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre el concepto de degradación de la energía
- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre el concepto de conservación de la energía
- el conjunto de respuestas de cada estudiante sobre la 2ª Ley de la Termodinámica

7.2 Inconsistencia a partir del conjunto de respuestas dadas por cada individuo acerca del concepto de trabajo.

Hemos visto en el capítulo 6, cuales son las diferentes concepciones que muestran los estudiantes respecto el concepto de trabajo. Ahora, vamos a evidenciar diversos casos en que un estudiante particular muestra "simultáneamente" diferentes concepciones.

Por ejemplo, un estudiante de 3º de Físicas (estud. 36) dice en la cuestión 4-Q-3B: *"Cada vez que se realiza trabajo, se cuantifica como un cambio de energía"*. Podemos pues pensar que este estudiante concibe que al transferirse energía mediante trabajo podemos medir tal transferencia mediante un cambio de energía del sistema: $\Delta E = W$. Es una concepción correcta del concepto de trabajo que está de acuerdo, por ejemplo, con la 1ª Ley de la Termodinámica. Algo similar dice este estudiante en la cuestión 1-Q-3A: *"La energía es útil porque cuantifica el trabajo...durante un proceso"*. Sería más adecuado hacer la frase a la inversa pero en todo caso muestra una misma línea de razonamiento.

Pasemos ahora a analizar su respuesta a la cuestión 8-Q-3B: ¿qué podemos decir de la energía asociada a la gasolina de un coche al final de su trayecto?. Este estudiante dice: *"La energía se ha utilizado en el trabajo hecho por el motor y ...no veo como puede recuperarse tal energía gastada al realizar un trabajo"*. Es decir, el trabajo ha pasado a ser el sumidero en el que la energía desaparece. Encontramos pues ahora, el concepto alternativo: trabajo = sumidero, el trabajo ha dejado de ser un cuantificador de los cambios de energía.

Al analizar su respuesta a la cuestión 11-Q-3B, habla de *"la imposible total conversión de calor en trabajo"*. En este caso, el trabajo (al igual que calor) significan energía, no maneras de transferir energía entre sistemas, ni un cuantificador de cambios de energía o un sumidero de energía.

Similares contradicciones encontramos en otro estudiante de 3º (estud 1). En la cuestión 3-Q-3A, se refiere a trabajo como una forma de transmitirse energía: *"Al realizar trabajo se transmite mejor la energía que calentando"*

En la cuestión 9a-Q-3B, se refiere al trabajo como una manera de almacenar energía: *"Al dar cuerda a un reloj, realizamos un trabajo que se almacena en el muelle"* El trabajo ha pasado a ser una especie de depósito de energía.

En la cuestión 8a-Q-3B, se refiere al trabajo como un consumidor de energía: *"Parte de la energía se ha gastado en realizar el trabajo de mover el coche"*

Y, finalmente, en la cuestión 4a-Q-3A, también aparece la expresión: "*completa transformación de calor en trabajo*". En esta confusa expresión, como ya hemos analizado en el capítulo 1, los términos calor y trabajo tienen el significado de energía, no de maneras de transferirla.

¿Cual de las anteriores concepciones podemos suponer que sostienen estos dos estudiantes? No tenemos argumentos para decidir cual es su propia idea de trabajo de entre las diversas que han mostrado. No podemos pues decir que existe una concepción alternativa, cada estudiante puede tener varias.

Lo que podríamos intentar saber es si algún estudiante utiliza la misma concepción de trabajo cada vez que utiliza este término. Es decir, ¿hay estudiantes que son consistentes acerca de su concepción de trabajo? La pregunta queda abierta.

7.3. Inconsistencia a partir del conjunto de respuestas dadas por cada individuo acerca del concepto de calor.

Hemos constatado en el capítulo anterior que el concepto de calor es utilizado con las siguientes acepciones: calor como una manera de transferir energía, calor como energía interna, calor como "forma" de energía.

Varios estudiantes muestran simultáneamente las diversas concepciones:

Veamos las respuestas de un estudiante de 3º de Físicas (estud 28) que considera que el calor es energía, no sólo una forma de transferirse. Dice: *"La energía ya no útil, aún existe en forma de calor"* (cuestión 8-Q-3A) y *"El calor es energía, el frío no"* (cuestión 10-Q-3A).

Pero por otro lado, cuando explica qué desencadena que el hielo funda a temperatura ambiente, dice: *"La energía calorífica del ambiente transmite calor al cuerpo frío hasta que adquiere la temperatura ambiental"* (10-Q-3B). En otras palabras, al decir "energía calorífica" se refiere a la energía interna del sistema - entorno y al decir "transmite calor al cuerpo más frío" indica la forma de transmitirse la energía a la que denominamos calor.

En otra de las cuestiones dice explícitamente que *"El calor se transmite"*.

Las dos últimas frases referidas podrían ser interpretadas como incorrectas diciendo que tal estudiante considera el calor como un fluido que puede ir de un lugar a otro pero en cualquier caso indican una transferencia de energía. y es una expresión muy habitual que consideramos válida.

Otras frases del mismo estudiante pueden ser interpretadas en otro sentido. Por ejemplo: *"La energía se transforma y pierde en forma de calor"* *"Siempre habrá energía en forma de calor que se perderá"* *"La energía se quema y se transforma en calor y en dar trabajo para..."* En estas tres frases, el término calor significa energía interna (dejando aparte la confusión entre energía y gasolina de la última frase).

Por tanto, este estudiante (nº 28) muestra dar diferentes significados a la palabra "calor".

La desafortunada expresión "conversión de calor en trabajo" es tan generalizada que podemos encontrar en la misma frase la palabra calor utilizada en los dos sentidos: como energía interna y como manera de transferirse energía. Así, por ejemplo, un estudiante al responder si un bloque de hielo en el Sahara o en el Polo Norte tiene o no energía dice: *"Lo que produciría trabajo en los dos casos es el bloque y la arena y, tal trabajo sería la*

conversión de calor en trabajo. En el Polo Norte este calor podría ser cero y no puede convertirse en trabajo". Al decir "en el Polo Norte este calor podría ser cero" quiere indicar que la transferencia de energía mediante calor es imposible allí, por estar ambos a la misma temperatura. Es decir, el término "calor" está utilizado como se establece desde la Física. Pero éste no es el significado de "la conversión de calor en trabajo"

Podemos también considerar que tiene dudas sobre tal expresión porque se contradice a sí mismo a lo largo de una secuencia de respuestas. Así ocurre cuando se le pregunta por la energía de la gasolina cuando el coche ha finalizado su trayecto y por si puede recuperarse completamente o parcialmente. La secuencia de frases es: "*La energía se ha utilizado o se ha convertido en calor y trabajo...*" "*Podríamos recuperar toda la energía que se pierde en forma de calor...*" "*Podríamos recuperar la transformada en calor, porque parece lógico; de todos modos, cuando un coche frena aquel calor parece bastante difícil de recuperar, creo que imposible. Por tanto, podríamos recuperar más del que se recupera (por ejemplo: el calor desprendido por el motor) pero todo no (el del frenado del coche)". En la última frase, de nuevo, el término calor es empleado con dos significados distintos.*

Esta confusión/contradicción la vislumbra un estudiante (nº 2). Va cambiando a medida que va respondiendo y escribe: "*No es posible encontrar un sistema físico en el que el final del proceso sea la completa conversión de calor en trabajo. Aquí encontramos el concepto de degradación: el calor es una forma degradada de energía (con ciertos matices, ya que el calor es una manera de transmitirse energía, es "energía en movimiento")."* Observamos que entre paréntesis rectifica y niega la primera parte de la frase: calor = forma degradada de energía.

7.4. Inconsistencia a partir del conjunto de respuestas dadas por cada individuo acerca del concepto de energía.

El concepto de energía es utilizado por diversos estudiantes dándole distintos significados.

Por ejemplo, un estudiante (nº 39) define energía como: *"una magnitud física que podemos medir sólo en forma incremental y que se observa que se conserva en todo proceso natural. Otras definiciones estarían ya en el campo de la metafísica y no llevan a conclusión definitiva alguna"*. Así pues, se trata de una definición teórica bastante bien construida, al decir *"se conserva en todo proceso natural"* parece que quiere indicar la utilidad del concepto de energía para analizar procesos. Pero, quizás la definición no está suficientemente asimilada por la falta de precisión en dos aspectos: no se considera una propiedad asociada a un sistema y la conservación no está referida a un sistema aislado.

En cualquier caso, cuando se le pregunta si es posible decir que los combustibles, una maceta en el balcón o una bala disparada tienen energía, este estudiante justifica sus respuestas desde otra concepción de energía. Dice: *"Los combustibles tienen energía porque son capaces de realizar trabajo"* *"Una maceta con flores tiene energía porque tiene capacidad de hacer trabajo en el proceso de caída"* *"La bala tiene energía dada su capacidad de hacer trabajo .."* A pesar de ser cierto que los tres objetos pueden transferir energía mediante la realización de trabajo, tener "capacidad de hacer trabajo" no es equivalente a tener energía (sería equivalente a tener energía libre o tener exergía).

Esta contradicción no la detecta este mismo estudiante al responder a la cuestión 11-Q-3A: ¿el bloque de hielo tiene energía a pesar de no poder realizar trabajo en el polo norte? Responde: *"Sí, (tiene energía). El hecho que no pueda hacer trabajo es sólo debido a si en las condiciones del sistema, el proceso de realización de trabajo puede o no ser espontáneo, o sea, si puede suponer un incremento positivo de la entropía"*. Por tanto en su respuesta, el estudiante dice que el bloque de hielo tiene energía pero no tiene capacidad para realizar trabajo porque en el polo norte, el proceso no supondría un aumento de entropía. Está pues, contradiciendo sus propios argumentos sobre los combustibles, maceta y bala.

Las incoherencias entre respuestas pertenecientes a un mismo estudiante son muy frecuentes. No podemos detallarlas todas. Lo que nos podríamos preguntar es si la

incoherencia es una regla general. No, es posible encontrar casos de coherencia entre respuestas acerca de un determinado concepto.

Podemos también ver un ejemplo de un estudiante de 3º de Físicas (nº 2): *"Energía es un número inventado por los físicos que lo construimos de tal manera para cada sistema físico que se conserva en los fenómenos de la naturaleza y nos ayuda en el estudio cuantitativo y cualitativo de la realidad"*

Cuando se le pregunta si podemos decir que los combustibles tienen energía, responde coherentemente con la anterior definición: *"Sí, tienen porque de esta manera podemos hablar del principio de conservación (Hemos definido la energía de modo que se conserve)..."* En ninguna de las demás cuestiones (maceta con flores, bala etc) justifica su respuesta apelando a la "capacidad para realizar trabajo" Es más, en la cuestión 12-Q-3B, rechaza que la energía sea la capacidad de hacer trabajo: *"La definición de energía como capacidad de hacer trabajo no es precisa..."*

La coherencia entre la definición de energía y las respuestas a otras cuestiones que implican el concepto de energía se da algunas veces, pero no es usual y en ningún caso tiene una frecuencia significativa como vamos a ver.

Podemos observar y analizar la tabla de contingencia correspondiente a dos cuestiones:

1-Q-3A.- ¿Qué se entiende por energía?

12-Q-3B.- Algunos dicen que la energía es la capacidad de hacer trabajo. De acuerdo con la 2ª Ley de la Termodinámica, en un sistema cerrado, la capacidad para realizar trabajo disminuye con el tiempo. Así pues, de acuerdo con esto la 2ª Ley dice que la energía disminuye. Si la energía se conserva ¿qué hay de contradictorio en esta cuestión?

Recordemos las categorías establecidas en el capítulo 5 para la cuestión 1-Q-3A

A₀ corresponde a la definición de energía como una cantidad abstracta asociada a un sistema.

A₁ es el código para la definición energía como capacidad de realizar trabajo

A₃, A₄ and A₅ son otros tipos de definiciones, que ahora no interesan.

Para la cuestión 12-Q-3B, en la que se enfrenta a los estudiantes con la contradicción de definir energía con la capacidad de realizar trabajo, las categorías establecidas fueron:

Z₂₂ -Tal definición no es aceptada

Z₂₁ -Se acepta la definición

Z₂₃ -Indeciso, respuesta ambigua respecto la aceptación o no de tal definición.

Z₀ - Sin respuesta

Podemos cruzar los datos de que disponemos para alumnos de 3ª Físicas. (Agruparemos las categorías Z₂₃ y Z₀).

	A ₀	A ₁	A ₃₊₄₊₅		
Z ₂₂	4	3	1	8	
Z ₂₁	6	17	2	25	
Z ₂₃ + Z ₀	2	14	1	7	
	12	24	4	40	$\chi^2 = 2.4$

De 8 estudiantes que rechazan la definición energía = capacidad de realizar trabajo (Z₂₂), 3 de ellos habían dado tal definición (A₁) en la cuestión 1-Q-3A. De 12 estudiantes que habían dado la definición abstracta (A₀) sólo 4 rechazan que la energía pueda ser la capacidad de hacer trabajo (Z₂₂).

Si consideramos solamente los estudiantes que han respondido A₀ o A₁ y Z₂₂ o Z₂₁, la tabla sería:

	A ₀	A ₁		
Z ₂₂	4	3	7	
Z ₂₁	6	17	23	
	10	20	30	

En ningún caso $\chi^2 = 3.5$ es suficientemente grande para poder considerar que existe alguna relación significativa entre A₀ y Z₂₂ y entre A₁ y Z₂₁

Por tanto, dar una definición de energía como cantidad abstracta, en lugar de la estereotipada "capacidad para realizar trabajo" no implica que los estudiantes sean capaces de contradecirla cuando se les plantea la contradicción de utilizarla. Es posible que la definición más abstracta esté como sobrepuesta a la conocida desde niveles inferiores de enseñanza y, no se haya reflexionado críticamente como para rechazarla.

Es curioso destacar que sólo 4 estudiantes de 40 de 3º de Físicas demuestran haber asimilado o elaborado una mejor definición si tomamos en cuenta como han respondido a las dos cuestiones anteriores. Ello representaría un aprendizaje significativo con lo que podrían aplicar a las más variadas situaciones un concepto correcto de energía. Estos 4 estudiantes que rechazan la definición "energía = capacidad de hacer trabajo" tienen asignados los números 2, 29, 30 y 37.

Si ahora seguimos la pista a estos 4 estudiantes en el resto de cuestiones, encontramos respuestas que no indican una coherencia tan buena.

El estudiante nº 30 dice por ejemplo: "*Capacidad de hacer trabajo = Energía + Calor*" (12-Q-3B), "*Cambio de energía potencial = Trabajo mecánico = Energía*" (4-Q-3b), "*Los combustibles tienen energía porque podemos extraer trabajo de ellos*" (2-Q-3B) "*Materia es energía como ya Einstein demostró. La energía fluye durante las interacciones*" (9a-Q-3A).

El estudiante 29 cambia la "capacidad para hacer trabajo" por la "capacidad para poner en movimiento" al responder: "*Los combustibles tienen energía porque bajo ciertas condiciones son capaces de producir movimiento..*" (2-Q-3B) "*El reloj tiene energía porque produce un movimiento en las agujas del reloj...*" (9a-Q-3B). "*Las macetas con flores tienen energía porque son capaces de adquirir velocidad...*" (3-Q-3B)

El estudiante nº 37 hace frases como "*Energía es tanto el vuelo de una mariposa como lo que el ColaCao nos da cada mañana*" (1-Q-3B), "*La bala tiene energía porque puede producir trabajo*" (5-Q-3B) "*Los combustibles tienen energía porque pueden utilizarla para realizar trabajo*" (2-Q-3B)

Tal como hemos señalado anteriormente, el estudiante nº 2 manifiesta coherencia en todas las cuestiones acerca del concepto de energía.

7.5. Conclusiones a partir de las inconsistencias encontradas respecto los conceptos de trabajo, calor y energía

Las inconsistencias evidenciadas hasta ahora sobre los conceptos de trabajo, calor y energía, nos llevan a hacer algunas reflexiones: ¿Cuándo podemos decir que alguien ha aprendido un concepto? y ¿Qué estudiantes están aprendiendo?

Está ampliamente aceptado que el aprendizaje de un concepto es significativo si se es capaz de aplicarlo a diversas situaciones. Aquí encontramos conceptos elementales que imaginamos asumidos por estudiantes de 3^{er} de Físicas, que los manejan con fluidez en algunos momentos y los utilizan contradictoriamente en otras ocasiones.

En particular, pudimos evidenciar que una definición de energía preguntada en general y de forma abstracta puede dar lugar a respuestas precisas y no precisas que después pueden ser negadas implícitamente por un mismo estudiante. (Recordemos que A_0 no lleva aparejado Z_{22} y que a respuestas A_1 puede corresponder Z_{22})

¿Quién podemos decir que ha aprendido?

Siempre se ha aceptado que hay estudiantes más capaces que otros de comprender y aprender. En este trabajo, nos damos cuenta que la clasificación de estudiantes en más o menos capaces de aprender debe por lo menos ser matizada. Podemos decir, en muchos casos, que un estudiante sabe algo si este "algo" se le ha preguntado de cierta manera. Si este mismo "algo" se le pregunta de otro modo, otros pueden ser los estudiantes que diríamos que han aprendido.

Da la impresión que los conceptos (incluso los elementales como trabajo, calor, energía) han sido introducidos en la mente de un estudiante en un sector de memoria a través de un recorrido. Si la ruta puede recordarse, el estudiante puede hacer uso del concepto, pero si se emplea otro recorrido puede salir algo distinto. Muy copiosas investigaciones sobre la mente como ordenador se están realizando actualmente, que quizás permitirán rechazar o aceptar la anterior analogía.

En cualquier caso, las inconsistencias hasta ahora encontradas nos permiten rechazar la idea de que cada estudiante tiene un número limitado de concepciones alternativas. En torno a cierto concepto están superpuestas concepciones alternativas con concepciones correctas.

7.6. Inconsistencias en las cuestiones sobre degradación de energía

7.6.1. Comparación de respuestas a un par de cuestiones sobre degradación

Elijamos ahora dos nuevas cuestiones. Ambas sobre degradación de la energía.

Las cuestiones son:

3-Q-3A. ¿Qué se entiende por degradación de la energía?

6-Q-3B. Si la energía se conserva, ¿por qué se habla con tanta frecuencia de la crisis energética?

La primera de estas cuestiones es teórica, planteada en abstracto y puede responderse a partir de los conocimientos de Mecánica y de Termodinámica. Como hemos visto las respuestas han sido codificadas teniendo en cuenta:

si los estudiantes conocen el significado de degradación de energía (C_{12} and C_{22})

o,

si lo confunden con pérdida o transformación (C_{21} , C_{11}) o,

si simplemente dan una respuesta ambigua o no responden (C_4 , C_5)

La segunda cuestión sobre la crisis energética pretendía saber si el concepto de degradación de la energía estaba bien asimilado y por lo tanto puede aplicarse en contextos distintos. Como hemos visto, algunos estudiantes

invocan la degradación de la energía (T_{22}) mientras que

otros estudiantes no lo hacen (T_{11} , T_{12} T_{21})

Podemos comparar los resultados obtenidos por los 40 estudiantes de 3º de Físicas. La tabla comparativa es:

Observed Frequency Table

	C11	C12	C21	C22	C3	C4	Totals:
T11	0	2	0	0	1	0	3
T12	1	4	0	0	0	0	5
T21	1	2	0	1	0	0	4
T22	0	22	1	1	3	1	28
Totals:	2	30	1	2	4	1	40

Es decir, de 28 estudiantes que responden correctamente (T₂₂) aplicando el concepto de degradación de energía a la crisis energética, todos -excepto uno- habían respondido también correctamente (C₁₂ y C₂₂) la cuestión teórica o al menos sin errores (C₄ y C₅).

Pero lo contrario no es cierto. Algunos estudiantes -9 en total- que dan una respuesta teórica correcta (C₁₂ y C₂₂) no saben como aplicar el concepto de degradación de energía a esta situación.(T₁₁, T₁₂ T₂₁). Es decir, su aprendizaje del concepto no es significativo en el momento que tienen que utilizarlo para resolver una cuestión ampliamente difundida por los mass-media.

Finalmente, los estudiantes que responden incorrectamente a la definición de degradación de energía, tampoco saben como resolver la cuestión sobre la crisis energética.

En definitiva, la relación entre variables no es significativa con un nivel de confianza aceptable.

Coded Chi-Square X₁: CI Y₁: TI

Summary Statistics

DF:	15	
Total Chi-Square:	14.544	p=.4847
G Statistic:	.	
Contingency Coefficient:	.516	
Cramer's V:	.348	

Podemos agrupar categorías. Pero tampoco encontramos una correlación entre variables.

$$\frac{T_{22}}{T_{11}+T_{12}+T_{21}}$$

$C_{12} + C_{22}$	23	9	32	$\chi^2 = 1.13$
$C_{11} + C_{21} + C_{4} + C_{5}$	5	3	8	
	28	12	40	

7.6.2 Comparación entre pares de cuestiones:

Al comparar las respuestas al par de cuestiones anterior (3-Q-3A y 6-Q-3B), encontramos algunas diferencias con la comparación del par de cuestiones 1-Q-3A y 12-Q-3B.

En ambos casos, una de las cuestiones pedía una definición sobre energía (1-Q-3A) o sobre degradación de la energía (3-Q-3A). La otra cuestión de cada par permite observar como se utiliza la definición.

En una se trata de

a) una aplicación en lenguaje cotidiano, que suele explicarse en las clases de Física (crisis energética, 6-Q-3B). Colocamos pues a los alumnos en una situación que para responder deben ser capaces de cruzar dos tipos de conocimiento: el científico y el obtenido en la vida cotidiana. Como Solomon (1983) describe, esto es imposible si los estudiantes no tienen un conocimiento significativo sobre degradación de la energía.

La otra es:

b) una cuestión en lenguaje teórico que utiliza y enfrenta a la vez, diversos conceptos abstractos (cuestión 12-Q-3B) uno de ellos es la estereotipada definición de energía. Los estudiantes deben tener seguridad sobre su conceptualización de la energía para rechazar tal definición.

Hemos visto a partir de 3-Q-3A y 6-Q-3B:

Si una cuestión sobre la cotidianidad puede resolverse utilizando correctamente unos conceptos físicos, más probablemente (aunque no demostrado estadísticamente) se es capaz de definir los conceptos. Pero conceptos bien definidos no implican una buena resolución de cuestiones acerca de situaciones cotidianas en las que es necesario hacer uso de ellos.

También hemos visto, a partir del par 1-Q-3A y 12-Q-3B, que una definición (correcta o incorrecta): A_i) no implica ni una buena ni una mala resolución de cuestiones que se refieren al concepto en un contexto abstracto (Z_i).

Es más, si una cuestión que trata de un concepto científico en un contexto abstracto está bien resuelta, tenemos la misma probabilidad de que el concepto sea bien o mal definido. Los estudiantes pueden contradecirse a sí mismos.

Después de comparar los dos pares de cuestiones, parece plausible imaginar que : La mente de los estudiantes está formada por muy diversas celdas, cada una de las cuales contiene un aspecto particular de un concepto; pero entre estas celdas no hay siempre ni a menudo interconexión. No nos referimos aquí a una localización física de las funciones mentales, estudios en otras ramas se ocupan de estos aspectos, sino de trazar una imagen de como están incorporados los conocimientos a nuestra mente.

7.7. Consecuencias de las anteriores inconsistencias en vistas a una correcta conceptualización de la 2ª Ley de la Termodinámica.

Las incoherencias hasta ahora mencionadas tiene repercusión en la comprensión de la 2ª Ley de la Termodinámica.

7.7.1. Las incoherencias sobre trabajo, calor y energía interna y su repercusión en la conceptualización de la 2ª Ley.

Hemos constatado que el enunciado de Kelvin-Planck es el que con mayor frecuencia formulan los estudiantes cuando se les pregunta la 2ª Ley. Si, como hemos constatado, hay dificultades en tener una conceptualización coherente de los conceptos de Trabajo y Calor, se manifestarán también a la hora de aplicar la 2ª Ley.

Así lo hemos observado, por ejemplo, en los estudiantes que utilizan un sólo término para expresar calor y energía interna. Podemos encontrar frases como: *"La energía de la gasolina se ha disipado convirtiéndose en calor en las moléculas del aire y de las piezas mecánicas del coche"* Y cuando el mismo estudiante (nº 37), al referirse a la tendencia del muelle de un reloj a desenroscarse y a la irreversibilidad de este proceso, dice: *"La energía se ha disipado y sería necesario un trabajo para volver a dar energía al muelle"*. Relaciona la irreversibilidad con la 1ª Ley: *"Es un ejemplo del concepto de energía interna extraído de la 1ª Ley. El muelle tiene eenergía cuando se enrosca y no la tiene cuando está en reposo"*

En general podemos decir que el uso inadecuado de los términos calor, energía interna, disipación de la energía se refleja también en la aplicación de la 2ª Ley.

Interpretaciones de la 2ª Ley diciendo que: *"No podemos obtener trabajo partiendo únicamente de calor"* (nº 11) son posibles cuando los conceptos de calor y trabajo no están suficientemente claros.

Del mismo modo, negar que una máquina térmica pueda tener un rendimiento 1 dando como explicación el que *"siempre habrá pérdidas en forma de calor"* o que *"el calor es irrecuperable"* (nº 14) nos hacen patente que sin que los conceptos de trabajo, calor y energía interna estén bien asimilados será difícil aprehender la 2ª Ley.

7.7.2. Las formas de energía

Hemos señalado ya en el capítulo 1, los inconvenientes de la utilización de la idea "formas de energía". Podemos comprobar algunas de sus consecuencias:

Un estudiante (4- 3º) en la cuestión 8-Q-3B considera que *"La energía de la gasolina se ha transformado en energía mecánica y ésta no la podemos recuperar totalmente porque violaríamos el 2º principio; crear energía química a partir de energía mecánica supone una disminución de entropía que espontáneamente no puede darse"*. Es decir, los términos energía mecánica y energía química los utiliza para expresar diferente grado de coherencia o de desorden. No podemos saber bajo qué criterios asigna una u otra distribución de la energía que asocia a la gasolina, al motor, o al coche cuando recibe los nombres de energía química o energía mecánica. Resulta pues, un lenguaje muy confuso.

Otro tipo de uso: *"La entropía es una forma de energía que permite expresar matemáticamente..."*(39-3º)

La utilización de los términos transformación de la energía y formas de energía interfieren una clara expresión de los razonamientos físicos.

7.7.3.-De manera similar, considerar el calor como energía en lugar de un modo de intercambio de energía entre cuerpos permite escribir frases como: *"Cuando una parte de energía se transforma se pierde una parte en forma de calor. Si consideramos el calor como una forma de energía, la energía se conserva"* (31-3º) o como: *"El enunciado de la 2ª Ley dice que no es posible la transformación de energía en forma de calor a energía en forma de trabajo"* (39-3º)

Como hemos analizado en el capítulo 1, los conceptos de disipación de la energía, degradación de la energía o dispersión de la energía se introducen para expresar que la energía inicialmente asociada a un sistema se conserva a pesar de que la energía disponible disminuya en la misma cantidad con que se ha disipado, degradado o dispersado.

Estos tipos de razonamientos quizás están subyacentes en las expresiones de los estudiantes pero como ya hemos constatado (cuestiones 11-Q-3A y 12-Q-3B), el concepto de energía disponible está lejos de estar asimilado por nuestros estudiantes.

7.8. Inconsistencias en las cuestiones acerca de la 2ª Ley de la Termodinámica

7.8.1. La complejidad de los niveles de razonamiento

En el capítulo 6 hemos tratado de clasificar los estudiantes de acuerdo con sus respuestas a las cuestiones referentes a la 2ª Ley. Estamos ahora interesados en decidir sus niveles de razonamiento.

Para ello profundizaremos en el análisis de las cuestiones que abordan un aspecto particular: la irreversibilidad.

Dos son las cuestiones en los cuestionarios que preguntan específicamente por la irreversibilidad de ciertos procesos reales.

¿Por qué

- la piedra que ha caído no puede volver a subir por sí misma hasta la altura inicial?
- cuando el reloj se para, no puede volver a recuperar la cuerda por sí mismo?

Codifiquemos de nuevo las respuestas dadas, ahora para analizar los razonamientos sobre la no reversibilidad del proceso:

<u>Categoría</u>	<u>Razonamiento</u>
1	Implicaría una disminución de la entropía
2	La naturaleza se comporta de este modo y la 2ª Ley lo explica.
3	Supondría la "completa conversión de calor en trabajo"
4	Implicaría un aumento de la energía que tiende a ser mínima.
5	La energía ya se ha consumido, gastado o transformado en calor.
6	Razonamiento sobre fuerzas (la gravedad lo impide, más fuerzas serían necesarias etc)

Encontramos:

<u>Categoría</u>	<u>En el caso de la piedra caída</u>	<u>En el caso del reloj de cuerda</u>
1	4 estudiantes	5 estudiantes
2	4 "	4 "
3	8 "	4 "
4	1 "	9 "
5	19 "	15 "
6	4 "	3 "

Las respuestas más frecuentes son las que corresponden a los estudiantes argumentando la imposible reversibilidad como un problema de consumo de energía. Pero quizás lo más interesante es cruzar las categorías:

Para la piedra caída
Observed Frequency Table

	1	2	3	4	5	6	Totals:
1	1	1	0	0	3	0	5
2	0	2	0	0	1	1	4
3	1	0	0	0	3	0	4
4	1	0	3	1	4	0	9
5	0	1	5	0	6	3	15
6	1	0	0	0	2	0	3
Totals:	4	4	8	1	19	4	40

Reloj

Observamos que muy pocos alumnos repiten categoría en ambas cuestiones. (Ver Anexo capítulo 7)

Podemos agrupar las categorías y considerar niveles de razonamiento:

Agrupamos del siguiente modo:

Para la piedra caída:

Categorías 1, 2, 3 y 4: Nivel I: 2ª Ley en alguna versión

Categoría 5: Nivel II: Argumentos acerca del consumo de energía

Categoría 6: Nivel III: Razonamientos sobre fuerzas

Para el reloj sin cuerda:

Categorías 1, 2, 3, 4. : Nivel I': 2ª Ley en alguna versión

Categoría 5: Nivel II': Argumentos acerca del consumo de energía

Categoría 6: Nivel III': Razonamientos sobre fuerzas

La tabla de contingencia que observamos es:

	I	II	III	Totals:
I'	10	11	1	22
II'	6	6	3	15
III'	1	2	0	3
Totals:	17	19	4	40

Si hacemos los cálculos para χ^2 podemos evidenciar que los estudiantes no utilizan el mismo nivel de argumentación en ambas cuestiones. (Ver cálculos en el Anexo)

Podemos aún agrupar más las categorías tomando conjuntamente el nivel II (o II') con el nivel III (o III') ya que son los dos tipos de razonamiento menos elaborados.

Así, la tabla de contingencia queda:

	I	II+III	Totals:
I'	10	12	22
II'+III'	7	11	18
Totals:	17	23	40

De nuevo, no encontramos correlación alguna (los cálculos se muestran en el Anexo). Los estudiantes utilizan diferente nivel de complejidad en el razonamiento sobre cada una de las dos cuestiones.

Un razonamiento más elaborado sobre una determinada cuestión no implica un razonamiento al mismo nivel en otra cuestión. En este caso, no se trata como antes

veíamos de una inconsistencia en la conceptualización de ciertos conceptos. Se trata de una inconsistencia en el uso del mismo nivel de razonamiento o de argumentación.

Recordemos que las dos cuestiones a las que hacemos referencia preguntaban por la irreversibilidad de ciertos procesos en un contexto cotidiano.

Responder el porqué cierto proceso real no es reversible, el porqué tiene un único sentido, implica utilizar al menos dos razonamientos consecutivos después de analizar una situación real. Cada estudiante debe "meterse en la situación" y desde allí empezar a elaborar una serie de razonamientos.

Podríamos imaginar, por ejemplo, cual podría ser la secuencia de razonamientos que suponen responder al porqué la piedra no puede volver a subir por sí misma. Algunas series de razonamientos podrían ser:

Secuencia A:

- a) Para que algo pueda subir necesita de una transferencia de energía, necesita que se realice un trabajo contra la fuerza gravitatoria
- b) Para transferir energía realizando un trabajo, es necesario energía
- c) La energía inicial se ha dispersado, tiene menos coherencia que al principio.
- d) A mayor incoherencia menor posibilidad de realizar trabajo. Por lo tanto, la piedra no tiene la posibilidad de volver a su altura inicial.

Secuencia B:

- a) Subir una piedra desde el suelo no es un proceso espontáneo
- b) En un proceso no espontáneo, la entropía disminuiría o la energía libre aumentaría
- c) Si consideramos que estamos tratando un sistema aislado, la 2ª Ley nos explica que este proceso no es posible.

Secuencia C)

- a) La caída libre de una piedra es un proceso irreversible
- b) La 2ª Ley nos explica que no es posible cambiar su sentido.

Alguna de las anteriores secuencias u otras similares, son necesarias para responder una cuestión acerca de la irreversibilidad de un proceso natural. En cualquier caso, los estudiantes deben ser capaces de elaborar dos o más razonamientos consecutivos utilizando el proceso de aplicación. Deben aplicar sus conocimientos en un contexto cotidiano y hacer razonamientos a partir de otros razonamientos.

Observamos que, cuando se pregunta a estudiantes sobre situaciones particulares en un contexto cotidiano y se requiere una secuencia de razonamientos, no es probable que los elaboren con el mismo nivel de complejidad. El nivel I, II o III asignado a un estudiante puede no corresponder con el nivel I', II' o III' respectivamente (hemos leído en la tabla). Podemos decir que hay una inconsistencia en el nivel de razonamiento

No estamos en condiciones de decir cuales son las variables que provocan cierto grado de complejidad o de elaboración en la respuesta de un estudiante, pero sí podemos ya decir que no dependen sólo de sus posibilidades de aplicar cierto conocimiento.

Además, podemos corroborar, como indican otros estudios, que ser capaz de aplicar un conocimiento en una situación no es suficiente para decir que tal estudiante siempre es capaz de hacerlo, incluso en una situación paralela.

7.8.2. Niveles de conocimiento y niveles de razonamiento

En el capítulo 6, hemos distribuido la muestra de 40 estudiantes de 3º de Físicas en 3 grupos A, B y C correspondientes a su puntuación total en las cuestiones sobre la 2ª Ley (las cuestiones que discriminan)

Ahora podemos comprobar si tal clasificación en puntuación alta, media o baja (A, B, C) correlaciona con los estudiantes que tenían asignado un nivel de razonamiento I, II o III (o bien I', II', III') en las anteriores cuestiones sobre irreversibilidad (piedra caída y reloj de cuerda respectivamente).

Así, elaboramos de nuevo unas tablas de contingencia.

Para la piedra caída:

Observed Frequency Table				
	A	B	C	Totals:
I	7	6	4	17
II	6	8	5	19
III	0	0	4	4
Totals:	13	14	13	40

En el Anexo al capítulo 7 podemos encontrar los cálculos que como se puede ya preveer da un valor de χ^2 insuficiente

Para el reloj de cuerda:

Observed Frequency Table				
	A	B	C	Totals:
I'	9	7	6	22
II'	4	6	5	15
III'	0	1	2	3
Totals:	13	14	13	40

Los valores de χ^2 son inferiores a los deseados (ver Anexo capítulo 7)

No podemos garantizar con algún aceptable grado de confianza que los estudiantes de los niveles A, B o C según su puntuación global sobre la 2ª Ley vayan a tener un nivel alto, medio o bajo en la explicación de las cuestiones que se refieren a la irreversibilidad en un contexto cotidiano. Los estudiantes pueden pertenecer al grupo A, B o C según su conocimiento global de la 2ª Ley y, a la vez, pueden aplicar dicha Ley en un contexto cotidiano sobre irreversibilidad con niveles superiores o inferiores a los que, en principio, esperaríamos.

Recordemos que el nivel I (o I'), nivel II (o II'), nivel III (o III') son en realidad niveles de complejidad. Responder con argumentos que suponen alguna versión de la 2ª Ley (niveles I y I') requiere un nivel de aplicación más elaborado que contestar con argumentos sobre consumo de energía (II y II') y a la vez, éstos son más elevados que utilizar razonamientos sobre fuerzas (III y III'). Nos damos cuenta que estos niveles no son en realidad niveles de estudiantes. Son sólo maneras de razonar en una situación particular.

Los estudiantes no siempre utilizan un nivel de complejidad que tenga su paralelo en su nivel global de conocimientos

Estos resultados estarían de acuerdo con las aseveraciones de Black y Harlen (199) según las que: La enseñanza de un concepto requiere una categorización y transformación, como hemos señalado en el capítulo 3. En general, se pone mucho énfasis en el aspecto llamado de transformación de los conceptos y poco en su categorización. Si no hay categorización, los nuevos conceptos se incorporan como islotes en nuestra memoria, no se puede relacionar la nueva información con los conceptos ya adquiridos.

La red de inferencias que están o pueden entrar en juego gracias a una categorización que es lo que Bruner, Goodnow y Austin (1956) llaman formarse un concepto, no se produce. De este modo, en cada momento o situación, el nivel de respuestas de un alumno puede variar porque no hay una categoría única a la que corresponde la explicación de distintos conceptos particulares.

CONCLUSIONES

Pueden distinguirse las conclusiones respecto 4 ámbitos:

1. Acerca de la metodología empleada

2. Acerca de la conceptualización de la energía

2.1 La definición de energía de los alumnos de la muestra

2.2 Las concepciones de la energía para los alumnos sin formación previa sobre el tema

2.2.1. Las asociaciones del termino energía

2.2.2. Las concepciones físicas subyacentes a dichas asociaciones.

2.3. El concepto de energía en alumnos con formación teórica.

2.4. Ideas de los estudiantes con formación teórica acerca de conceptos relacionados con el de energía

3. Concepciones entorno de la 2ª ley de la Termodinámica.

4. Acerca de la solidez de los razonamientos.

1. ACERCA DE LA METODOLOGIA EMPLEADA.

La metodología utilizada ha sido útil y adecuada para obtener los resultados perseguidos.

Sobre la muestra:

1.1. Hemos dispuesto de 100 alumnos de Primaria para el estudio de las concepciones alrededor de la energía, 141 de 1º de Universidad (equivalentes al último curso de diversas instituciones de Secundaria) y 40 alumnos de 3º de Físicas. En algunos casos hemos podido ampliarla con 100 alumnos de 1º de Físicas.

La muestra ha resultado suficiente en todas las cuestiones referentes al concepto de energía, ya que ha permitido hacer estudios estadísticos de comparación cuando ha sido necesario y a la vez ha sido suficientemente reducida como para permitir un análisis cualitativo, siempre muy laborioso.

1.2. Para el estudio de las concepciones sobre la 2ª Ley de la Termodinámica, hemos dispuesto de 141 alumnos de 1º de Universidad y 40 alumnos de 3º de Físicas. También en algunas cuestiones se ha ampliado con la muestra de 100 alumnos de 1º de Físicas. La muestra ha sido muy adecuada para el análisis cualitativo ya que ha permitido aflorar gran diversidad de concepciones, pero el bajo nivel de conocimientos sobre la 2ª Ley por parte de los alumnos de 1º, ha hecho que para profundizar en algunos aspectos hubiese que contar sólo con los 40 alumnos de 3º. El análisis confirmatorio, que se ha requerido en ciertas ocasiones, tendría mayor valor estadístico si hubiésemos dispuesto de un mayor número de alumnos de un nivel similar a los de 3º de Físicas.

1.3. Las preguntas del cuestionario son abiertas y por lo tanto han permitido que los alumnos explicaran con más facilidad sus ideas, utilizando su propio lenguaje. Esto ha permitido hacer un análisis cualitativo de las respuestas que se ha revelado muy enriquecedor. La codificación de la variedad de respuestas en cada cuestión ha sido un buen instrumento para comparar los grupos de estudiantes y a la vez para comparar el grupo de respuestas de un mismo estudiante. Nuevos estudios pueden derivarse de la codificación realizada.

1.4. La comparación de las respuestas ante una misma cuestión y la comparación de respuestas de un mismo estudiante se ha realizado mediante las tablas de contingencia, generalmente entre 2 variables y en algunos casos entre 3 variables. Estas tablas han permitido conocer si había relación entre las variables -buscando los valores χ^2 y p , y por lo tanto del grado de significado de la relación buscada-. Las nuevas hipótesis que, gracias al análisis cualitativo emergen constantemente, han podido ser corroboradas o descartadas con relativa facilidad.

Para que una relación entre variables la consideremos significativa, hemos decidido que la probabilidad estadística de que se diera tal relación tenía que ser al menos de un 95% y en muchos casos del 99%.

2.ACERCA DE LA CONCEPTUALIZACION DE LA ENERGIA

Puede destacarse que a diferencia de lo que ocurre en otras temáticas (como la 2ª Ley), la gran mayoría de estudiantes de la muestra ha respondido a todas las cuestiones referidas a la energía. Es decir, los alumnos de los diversos niveles se sienten seguros de abordar adecuadamente el tema: energía.

Veamos los distintos aspectos:

2.1.La definición de energía de los alumnos de la muestra

2.1.1. Como era de esperar, la definición de energía que dan los alumnos experimenta una importante mejora al pasar de la Primaria a los cursos de Universidad.

Mientras más de un 50% de los alumnos de Primaria definen la energía como una fuerza, esta definición sólo aparece en cerca de un 15% de los alumnos de 1º de Universidad y no se encuentra en ningún alumno de 3º de Físicas.

2.1.2. Del mismo modo, la definición de energía considerándola como algo útil para realizar distintos procesos -a la que he llamado definición utilitaria de la energía- va disminuyendo en popularidad desde la Primaria hasta los cursos universitarios. El porcentaje de alumnos que en Primaria definían la energía de este modo era de un 32% mientras que en 1º de Universidad descendía hasta cerca de un 10% y en 3º de Físicas era sólo de un 2,5%.

2.1.3. En sentido inverso, mientras ningún alumno de Primaria definía la energía como una propiedad asociada a un sistema, encontramos este tipo de definición en un 6% de alumnos de 1º de Universidad que asciende hasta un 25% en los de 3º de Físicas.

2.1.4. De todos modos, tanto en 1º de Universidad como en 3º de Físicas, la mitad de los alumnos responden con la tradicional definición: Energía = capacidad de realizar trabajo. Es decir, parece que desde la Enseñanza Secundaria los alumnos aprenden esta definición, la aceptan como tal y no se cuestionan cómo mejorarla o no encuentran mejor solución. Por otro lado, ningún alumno de la muestra se ha dado cuenta que "la capacidad de realizar trabajo" corresponde a la definición del concepto de energía disponible.

Hasta ahora nos hemos referido únicamente a la definición de energía que, al ser preguntados, de forma directa, daban los alumnos de los distintos niveles.

2.2.Las concepciones de la energía para los alumnos sin formación previa sobre el tema

2.2.1.Las asociaciones con el termino energía

2.2.1.1. En los alumnos de Primaria (11-12 años) hemos podido comprobar una disparidad de criterios en el momento de tener que asociar la energía a un sistema o a un proceso. Por el contrario, los alumnos con formación teórica acerca de la energía responden más homogéneamente en un solo sentido.

Las más frecuentes asociaciones con la energía que se constatan en los alumnos que no han recibido enseñanza entorno al tema son:

2.2.1.2 Asociar la energía con los seres vivos.

Se asocia a los animales como consecuencia de su movimiento. La asociación con las plantas parece provenir de las clases de Biología recibidas por un lado respecto a la función de fotosíntesis y por otro lado, respecto a los alimentos y la dieta alimenticia. Estas temáticas suelen abordarse a los 10-12 años en la Educación Primaria. En otro orden de cosas, cabe señalar que en diversos libros de Biología consultados aparecen expresiones como: "el ATP produce energía" lo que corrobora la excesiva familiaridad con que, en muchas ocasiones, aparece tratado el complejo concepto de energía y repercute en la conceptualización de los alumnos. Estudios posteriores podrían detectar como condicionan los aprendizajes en Biología, y en general en otras ramas del saber, en la formación de algunos conceptos físicos.

2.2.1.3 Asociar la energía con el ser humano.

La expresión "energía de nuestro cuerpo" aparece con mucha frecuencia. Mediante esta energía consideran que podemos realizar las más diversas acciones y tareas; desde desplazarnos y mover nuestros brazos, piernas, etc. hasta respirar, mirar....

La vitalidad se confunde con la posesión de energía y así ser enérgico o ser vital son casi sinónimos. Del mismo modo, salud, bienestar, etc... están relacionados con la energía.

2.2.1.4 Asociar la energía con los combustibles y todo tipo de recursos energéticos (sol, electricidad, alimentos, etc...).

De ellos, los alumnos dicen con la misma naturalidad que son energía, hacen energía, dan energía, tienen energía,

2.2.1.5 A todos los vehículos, máquinas, motores y dispositivos que pueden entrar en funcionamiento se les asocia cierta energía (tienen energía, requieren energía, producen energía, gastan energía, etc...).

2.2.1.6 Asociar la energía a todo objeto o cuerpo en movimiento. De los objetos que están inactivos o inmóviles, y no son seres vivos, máquinas o combustibles, dicen que no tienen energía. Así por ejemplo no asocian energía a un libro, una maceta o una viga.

2.2.1.7 Estos tipos de asociaciones y relaciones con el concepto energía han sido también encontrados por Solomon, Duit y Trumper en estudios en que se utilizaban las 2 cuestiones del cuestionario Q-1 para alumnos de primeros niveles de Secundaria. Esta

coincidencia en los resultados de investigación acerca de las ideas previas de los alumnos corrobora su "universalidad", es decir que, las concepciones encontradas son válidas para todos los niños de edades similares, por lo menos, los que pertenecen a culturas occidentales. Si bien existe coincidencia en los tipos de asociaciones, no ocurre lo mismo con la frecuencia con que se observan tales asociaciones. En mi trabajo la concepción vitalista aparece como en Solomon (1982) en múltiples ocasiones y no raramente como en los alumnos alemanes investigados por Duit. Sería interesante realizar estudios comparativos y constatar como la cultura de cada país condiciona las concepciones que se forman los estudiantes.

2.2.2. Las concepciones físicas subyacentes a las asociaciones.

Las anteriores asociaciones están basadas en ciertas concepciones de la energía. Estas van emergiendo en diversas ocasiones y permiten comprobar cuán distinta es la definición de energía de la concepción que tienen realmente de ella.

También, gracias a que las cuestiones eran abiertas, han aflorado algunas insólitas formas de dar explicación de un fenómeno.

2.2.2.1 Una de las características del pensamiento de los alumnos, especialmente de Primaria, es la necesidad de referir a cualquier proceso un agente causal o inductor. Así, ante cualquier cuestión sobre un proceso en el que no se hace referencia al sujeto u objeto que ha dado lugar al cambio, los alumnos inventan el personaje. Hemos constatado como el cambio de posición de un libro, unos cazos, etc... no puede describirse como tal si no se idea quien ha sido el responsable de tal cambio. Así, el cambio de energía potencial gravitatoria cuando un libro pasa de un estante a otro, solo puede explicarse "por la energía del cuerpo o de la mano de la persona que ha modificado la posición del libro". Podemos decir que todo cambio de energía potencial gravitatoria no se interpreta como tal sino como el trabajo requerido para ello.

2.2.2.2 Esta forma de razonar concuerda con el que hemos denominado punto de vista antropocéntrico que aparece en múltiples ocasiones. Según él, todos los procesos requieren energía si se necesita cierto esfuerzo humano para realizarlo. Así, enchufar una lámpara, pulsar un gatillo, apretar un acelerador, etc... son esfuerzos humanos. Son éstos los que conllevan que el paso de corriente eléctrica, el movimiento de una bala o la aceleración de un vehículo, respectivamente, requieran energía. Por el contrario, para la realización de una actividad que supuestamente no causa o no requiere gran esfuerzo muscular (ordenar, planchar, etc...) no es necesaria la energía.

2.2.2.3 "Ser enérgico" podría ser concebido como una propiedad que tienen en mayor o menor cantidad los seres humanos. Pero en la concepción de muchos alumnos, ser enérgico es ser capaz de realizar ciertas tareas, incluso algunas veces está más bien relacionado con el ritmo o el tiempo en que se realiza cierto trabajo, es decir, con la potencia.

2.2.2.4 La denominación de energía al concepto que en Física se designa como energía libre o como energía disponible es muy frecuente y, como veremos, aparece también en niveles superiores. Los alumnos designan con un "tener energía" a la propiedad de tener energía disponible para realizar el trabajo para el que han estado diseñadas las máquinas, dispositivos etc

2.2.2.5 En algunos casos, además del cuerpo humano son también, para los alumnos de Primaria, agentes causales los demás seres vivos, la corriente eléctrica, los combustibles u otros recursos energéticos y en general, todos los objetos o sistemas a los que suelen atribuirles energía. La atribución de energía a un cuerpo suelen hacerla cuando tal cuerpo puede realizar trabajo.

2.2.2.6 La atribución de energía a los combustibles y demás recursos energéticos como el butano, la gasolina, etc... parece provenir precisamente de conocer su capacidad de hacer funcionar algún dispositivo: estufas, motores, etc.... En los casos en que desconocen la aplicación que puede tener un material con energía disponible como la pólvora dudan en asociarle energía. Cierta idea intuitiva de energía interna liberable no se ha encontrado en ninguna frase de los alumnos de 10-12 años.

2.2.2.7 Otra de las concepciones arraigadas e inferible a partir de la forma de expresarse es la siguiente: la energía es una sustancia, una especie de fluido del que están impregnados los seres vivos -en particular el cuerpo humano-, los objetos en movimiento, los combustibles y demás recursos energéticos.

Con el trasvase de este fluido, lo que equivaldría a la transferencia de energía entre sistemas, pueden realizarse las más diversas tareas. A lo largo de los años se va perdiendo esta "sustancia" de la que se dispone en mayor cantidad cuando se es más joven. También durante las diferentes actividades (por ej. el deporte) se va perdiendo o gastando este fluido ya que se requiere para cada acción.

2.2.2.8 La idea sustancializadora con que los medios de comunicación y el lenguaje familiar suelen referirse a la energía es la que principalmente impregna las concepciones

de la energía de los alumnos de 11-12 años -por lo tanto sin enseñanza específica sobre el tema-. Diversos estudios podrían analizar, de manera precisa, cuál es el lenguaje y/o las imágenes empleados en los medios de comunicación al referirse a la energía y a otros conceptos físicos (fuerza, potencia, calor, etc)

2.2.3. Acerca del aprendizaje del concepto de energía

2.2.3.1. Las ideas que, acerca de la energía, tienen los alumnos sin enseñanza previa son múltiples y derivan de su inserción en el medio social. Esta cultura, fruto de la cotidianidad, sólo puede suplantarse a través de cursos de Física que favorezcan el cambio conceptual y por tanto, que no se limiten a superponer unos conocimientos científicos ignorando los cimientos

2.2.3.2. Otra de las concepciones observadas en los alumnos de Primaria (11-12 años) es la referente a la necesidad de un aporte de constante energía para conseguir un movimiento constante. El mantenimiento de cierta velocidad consideran que requiere una transferencia constante de energía. Detectamos pues, que la 1ª ley de Newton va a ser un obstáculo epistemológico para muchos alumnos, como así se ha revelado ya en numerosos estudios.

2.2.3.3. Por el contrario, la idea de degradación de la energía parece fácil de ser asumida por los alumnos de 11-12 años. Son frecuentes las expresiones: gastar energía, desaprovecharla, perderla, etc... que darían idea de su cambio de cualidad y permitirían sin demasiada dificultad enseñar las nociones de pérdida de coherencia y degradación.

No ocurre lo mismo con el principio de conservación de la energía ya que son también frecuentes expresiones tales como "generar energía", "producir energía" e incluso "hacer energía". Todas ellas pueden implicar una concepción de que la energía se puede crear o fabricar.

Considero pues que no debe enseñarse el principio de conservación aislado o previamente a la noción de degradación de la energía. Con una enseñanza al unísono de las dos ideas conseguiríamos, por lo menos, uniformizar expresiones tales como "haciendo deporte se gasta energía" o "haciendo deporte se hace energía".

2.2.3.4. La estrecha relación, que establecen los alumnos de 11-13 años, entre movimiento y energía permite augurar que el concepto de energía cinética no les será difícil de asumir y así sabemos que ocurre generalmente. De todos modos, hemos constatado que su idea intuitiva está más cerca del concepto de cantidad de movimiento

pero este término no es del lenguaje coloquial -como lo es energía- y por tanto no pueden utilizarlo. Convendrá pues enseñar a diferenciar y relacionar los dos conceptos: energía cinética y cantidad de movimiento.

2.2.3.5 El concepto de energía potencial no va a tener las mismas facilidades para su comprensión que los anteriores. En algunos casos se ha detectado una remota idea de energía potencial elástica (como en la cuestión del coche de juguete al que se la ha dado cuerda). Pero, de todas las respuestas de los cuestionarios Q-1 y Q-2 no hemos podido encontrar ninguna frase en que se vislumbre alguna noción intuitiva de energía potencial gravitatoria.

2.3.El concepto de energía en alumnos con formación teórica.

Hemos ya reseñado la mejora cualitativa de las definiciones de energía de los alumnos de Universidad con respeto a las de los alumnos sin formación previa.

Pero también hemos señalado que de una definición correcta no se infiere una concepción correcta de lo definido. Así lo hemos constatado.

2.3.1 Las mejores definiciones de energía -procedentes de alumnos de 3º de Físicas- no siempre han ido acompañadas de otras alusiones a la energía hechas con igual precisión. Una explicación de este hecho es la dificultad de referirse a una propiedad de un sistema. Nuestro lenguaje tiene que valerse de analogías y modelos para dar cuenta de los cambios de esta propiedad que asociamos a los sistemas y que denominamos energía. Si bien, los cambios de energía que tienen lugar mediante la interacción entre sistemas los referimos con el término transferencia de energía o simplemente diciendo que fluye energía de uno a otro, nuestros alumnos amplían la acepción del lenguaje y así la transferencia de energía equivale al trasvase de un fluido-sustancia. Comprobamos una vez más que la utilización de modelos puede conducir a equívocos.

2.3.2 Esta substanciación de la energía puede llegar a ser explicitada por los alumnos que han recibido más cursos de Física. Así, hemos visto que para algunos la expresión $E=mc^2$ da cuenta de la materialización de la energía; "Materia y energía son una misma cosa" hemos leído. La confusión entre materia y masa se hace patente.

2.3.3 Otro aspecto a destacar. Para algunos alumnos no hay discordancia entre la definición de energía y la concepción que de la misma se han formado pero ambas son

incorrectas. La definición Energía=capacidad de realizar trabajo es frecuente. Pero esta definición es acorde con la también generalizada confusión entre la energía de un sistema y su energía disponible. Por otro lado, tal confusión no sólo se ha detectado entre alumnos con un cierto tipo de definición. Independientemente de la definición formal de energía dada, porcentajes no despreciables de estudiantes de 3º justifican la posibilidad de asociar energía a un objeto o un material (combustible, bala, tiesto) mediante la "capacidad de realizar trabajo". Tal confusión aparecía ya, aunque menos explícitamente, en los alumnos sin formación previa.

La persistencia de tal equívoco en los alumnos universitarios se puede comprender teniendo en cuenta que los conceptos de Disponibilidad y de Energía disponible son poco frecuentemente introducidos en los cursos de Física. Sería interesante que posteriores estudios constataran si alumnos con cursos equivalentes en Ingeniería están también lejos de conocer y aplicar el concepto de energía disponible. Puede suceder que para muchos estudiantes de Físicas el concepto de rendimiento de un proceso resulte de poco interés ya que su deseo principal es conocer un sólido edificio teórico muy coherente en sí mismo y cuya aplicación en el quehacer cotidiano no está en su horizonte.

En línea con lo anterior, hemos encontrado algunos alumnos de los dos niveles universitarios analizados, que consideran que por el hecho de estropearse un objeto queda con menor energía.

2.3.4 Otra de las concepciones explicitada por los estudiantes universitarios es la de considerar la energía como la causa de que se produzca un fenómeno o un proceso. Diversas han sido las cuestiones formuladas a los estudiantes en que se preguntaba qué impulsaba cierto proceso o fenómeno natural. Los porcentajes de estudiantes que aluden a transferencias de energía como explicación del fenómeno han sido elevados (mayores en 1º de Universidad y menores en 3º de Físicas). En párrafos posteriores insistiremos más en ello.

2.3.5 En los estudiantes universitarios se ha encontrado mejoras importantes a las respuestas a cuestiones acerca de la energía cinética y las energías potenciales. Hemos visto que los alumnos sin formación previa asociaban energía a todo objeto en movimiento sobre todo si era ser vivo y poco comúnmente asociaban energía a los objetos inertes, no vislumbrándose el concepto de energía potencial. En cambio, la mayoría de los alumnos de 1º de Universidad y la práctica totalidad de los de 3º de Físicas dominan los conceptos de energía cinética y de energía potencial gravitatoria o elástica. Es curioso constatar en cambio que la asociación de energía a un material por su composición química no sobrepasa el 25% en ninguno de los niveles considerados.

2.3.6 La asociación de energía a todo cuerpo en movimiento-energía cinética-carece de dificultad pero muchos alumnos no han reflexionado acerca de la muy frecuente disipación de la energía cuando el cuerpo deja de estar en movimiento.

2.3.7 Finalmente destacamos la necesidad de tomar un agente causal para poder responder si cambia la energía de un sistema.

También en los alumnos de los niveles universitarios encontramos esta alusión a un sujeto responsable de los cambios de energía. La referencia al ser humano y por tanto la denominada visión antropocéntrica también parece, si bien es menos frecuente, en los alumnos de 3º de Físicas. Sería de interés emprender estudios sobre las causas de estas formas de razonar, quizás enlazando con análisis sobre la causalidad y el determinismo.

2.4. Ideas de los estudiantes con formación teórica acerca de conceptos relacionados con el de energía

2.4.1 Una idea ciertamente repetida por diversos alumnos a lo largo de diferentes respuestas es que la energía puede transformarse en trabajo,.

En la misma línea están las formulaciones de "el trabajo es una forma de energía", en lugar de concebirlo como una forma o modo de transferirse la energía entre sistemas.

2.4.2 Siguiendo en esta línea de equívocos, algunos se refieren al trabajo como una manera de "perderse energía". En diversas ocasiones la expresión "perderse energía" ciertamente indica que la energía deja de conservarse. En estos casos, el trabajo pasa a concebirse como una especie de pozo ciego donde la energía desemboca y desaparece. Encontramos tal tipo de concepciones a pesar de dar formulaciones teóricas completamente correctas cuando se pregunta en abstracto el principio de conservación de la energía.

En otras ocasiones, las menos, podemos considerar que la expresión "perderse energía" equivale a decir que la energía pasa a formas menos útiles o que se dispersa en el medio ambiente. El paso de coherencia a incoherencia, de orden a caos es expresado mediante un "perderse energía".

2.4.3 Faltos de esta concepción clara -ya analizada en el capítulo 1- se dice que el calor es una forma de energía, es decir, una manera de manifestarse la energía. Mediante esta

reminiscencia de la teoría del calórico, podrían hablar del calor de un sistema y -si aceptan la 1ª Ley de la Termodinámica- del trabajo de un sistema.

2.4.4. La disipación de la energía se considera como su transformación "en esta forma de energía" llamada calor. Esta concepción da idea -una vez más- de la confusión entre calor y energía interna. El término calor se utiliza con dos acepciones distintas: como transferencia de energía entre cuerpos a diferente temperatura y como energía interna.

2.4.5. El concepto de energía interna aparece citado en poquísimas ocasiones en las respuestas de los estudiantes de los dos niveles. Esto seguramente refleja una escasa profundización acerca de la degradación o la dispersión de la energía. Estudios posteriores podrían dar más firmes razones de la ausencia de este concepto de energía interna en las explicaciones de los estudiantes.

2.4.6. Por otro lado, y quizás en consecuencia con lo anterior, muchos estudiantes, tanto de 1º de Universidad como de 3º de Físicas, consideran que el único modo de disiparse la energía es mediante el calor.

Además para algunos, el calor es la única forma recuperable de energía para la obtención de trabajo mientras que, para otros es la única forma no recuperable.

2.4.7. Podemos inferir de todo lo anterior que Trabajo y Calor son dos conceptos con los que nuestros estudiantes tienen dificultad para razonar cuando se trata de analizar conceptualmente ciertos procesos.

A esta conclusión no estaba previsto llegar en el momento de formular las hipótesis de nuestra investigación. Nuevos trabajos podrán adentrarse quizás en las causas. De momento no parece aventurado suponer dos explicaciones: a) se trata de conceptos en los que se cree que no merece la pena insistir en cursos superiores dado que están supuestamente aprehendidos, b) los conceptos se utilizan más frecuentemente para operar como algoritmos o con ellos deducir nuevas expresiones algebraicas que para profundizar en análisis cualitativos de los fenómenos o los procesos.

2.4.8. Los cambios de energía de un sistema producidos gracias a movimientos coherentes de otro sistema o de una parte del mismo y los cambios de energía mediante procesos desordenantes o térmicos deberían tener en la mente de nuestros estudiantes un paralelismo con los conceptos de trabajo y calor respectivamente. Tales ideas - movimiento coherente y movimiento térmico, coherencia y caos- no aparecen en ninguna de las respuestas analizadas.

2.4.9. La dificultad de discernir en muchos casos entre trabajo y energía o entre calor y energía interna resulta una traba para asimilar con profundidad las leyes de la Termodinámica.

2.4.10. Algunos alumnos distinguen entre "pérdidas de energía por fricción" y "pérdidas por calor" siendo las primeras irrecuperables y las segundas recuperables. Esto quizás revelaría cierta aproximación intuitiva entre los conceptos de energía interna y calor. Pero la idea de disipación de la energía como proceso mediante el que la energía queda distribuida en las múltiples moléculas del sistema circundante no se ha encontrado en las respuestas de los alumnos. De ahí la falta de conexión observada entre los conceptos de disipación e irreversibilidad.

2.4.11. La respuesta más usual que dan los alumnos de 1º de Universidad del principio de conservación de la energía es la estereotipada frase: "La energía no se crea ni..." o en algunos casos: "La energía del universo es constante". La mayoría de estudiantes de 3º de Físicas son capaces de una explicación del significado de estos enunciados. Sólo en algunos casos, se toma como principio general la conservación de la energía mecánica.

2.4.12. Si bien, el principio de conservación de la energía es correctamente enunciado por la mayoría de los universitarios cuando se pregunta en abstracto, ante cuestiones en contexto cotidiano responden con expresiones sospechosas de una incorrecta conceptualización del principio de conservación. El lenguaje que emplean los estudiantes no permite a veces dilucidar con precisión cuales son realmente sus concepciones. Los términos gastar energía, consumirla, producirla, ganarla, perderla, etc... con frecuencia enmascaran distintas nociones. A veces indican que la energía desaparece o que se crea, otras indican que ha habido una transferencia de energía hacia a / procedente de otro sistema. Para llegar a conclusiones más completas acerca del aprendizaje del principio de conservación de la energía sería necesario explorar con métodos distintos de los hasta ahora utilizados.

2.4.13. Las situaciones en las que con mayor rotundidad se puede decir que algunos alumnos consideran que la energía no se conserva son: a) los casos en que se ha realizado cierto trabajo y b) los casos en que se ha puesto en movimiento algún objeto. El trabajo y el movimiento (algunas veces, dicen la energía cinética) son verdaderas sumideros de la energía para muchos de los alumnos de la muestra.

3. CONCEPCIONES ENTORNO DE LA 2ª LEY DE LA TERMODINAMICA DE ESTUDIANTES DE 1º DE UNIVERSIDAD Y DE 3º DE FÍSICAS.

3.1 Podemos considerar que los alumnos que inician los estudios en la universidad (tanto en 1º de Biológicas como en 1º de Físicas) desconocen la 2ª Ley de la Termodinámica a pesar de que algunos de ellos tienen ciertas nociones sobre entropía. De las 22 preguntas formuladas al respecto, la mayor parte de los alumnos sólo responden correctamente entre un 16% y un 32%. Son muy pocos los alumnos que consiguen responder bien a la mitad de las cuestiones. Además en la casi totalidad de las cuestiones hay 1/4 parte de los alumnos que no dan respuesta alguna, síntoma de su inseguridad ante el tema.

3.2 De diversas cuestiones se infiere que los conocimientos de estos alumnos, en este campo, provienen de sus cursos de Química y que aún no han recibido ningún curso de Física al respecto.

3.3 Relacionan generalmente la entropía con el desorden, con los cambios químicos. Pero no establecen conexión entre entropía y equilibrio ni entre entropía e irreversibilidad. Sus primeras nociones sobre entropía parecen provenir de definiciones a nivel de Mecánica estadística en lugar de ser a nivel macrosópico.

Estas escasas nociones no suelen estar suficientemente asumidas para poder aplicarlas a diversas situaciones cotidianas.

3.4 Supone una mejora importante aunque esperada, que la mitad de los alumnos de 3º de Físicas han respondido correctamente entre un 66% y un 75% de las 22 preguntas acerca de la 2ª Ley de la Termodinámica. Algunos alumnos llegan a responder bien el 93% de estas cuestiones y los que obtienen menor puntuación aun responden bien un 40% de ellas.

3.5 El progreso más acentuado corresponde a cuestiones planteadas en un contexto científico; sus conocimientos formales han experimentado una notable mejoría. Así los alumnos de 3º de Físicas muestran un buen conocimiento de los distintos enunciados de la 2ª Ley. Algunas se citan con más frecuencia que otras. En el momento de definir la 2ª Ley, la formulación de Kelvin-Planck es la más usual seguida de la referente a los incrementos de entropía y más atrás la de Clausius. Un 20% de los alumnos de 3º (en

comparación con el 95% de los de 1º de Ciencias) no parecen reconocer la 2ª Ley en el enunciado de Clausius.

3.6 Parecería que el dominio de diversos enunciados ha de ir asociado a una mayor capacidad de dar explicación de distintos procesos aplicando la 2ª Ley. Así se ha detectado que algunos estudiantes utilizan diversos enunciados para responder a las cuestiones mientras que otros se valen de un reducido número de ellos. La mayor o menor profusión de enunciados distintos no está relacionada con un mayor o menor conocimiento de la 2ª Ley.

3.7 Entre las distintas formulaciones de la 2ª Ley los estudiantes establecen pocas o nulas conexiones. Todo ocurre como si en su mente cada enunciado tuviera su propio mundo y entre ellos no hubiese interrelación.

3.8 La relación con más frecuencia citada es la referida a la evolución de los procesos naturales y el incremento de entropía. Pero un análisis más detallado da cuenta de que esta relación se utiliza escasamente al analizar procesos en un contexto cotidiano (tendencia a producirse los procesos, dirección en que tienen lugar, etc...).

3.9 Los conceptos de entropía y energía libre son poco utilizados para explicar la causa de que tenga lugar un fenómeno. Con mucha frecuencia ésta se atribuye a la energía y corresponde a su concepción " capacidad para realizar trabajo", impulsora de procesos, etc....

3.10 El conocimiento formal del concepto de entropía es mayor en los alumnos de 3º de Físicas que en los de 1º pero la entropía sigue siendo para ellos una magnitud con escaso significado en el plano cualitativo. Pocos son los que conciben la entropía como una magnitud útil para explicar la irreversibilidad de un proceso, su espontaneidad o para referirse a la flecha del tiempo. En cambio el vocablo entropía se asocia frecuentemente con los términos aumento, constancia o desorden.

3.11 Emplean la 2ª Ley para explicar la irreversibilidad de ciertos procesos, alrededor del 50% de los estudiantes de 3º de Físicas. Este porcentaje es aun superior al de los alumnos que se sirven de la 2ª Ley para dar cuenta de la tendencia de ciertos procesos espontáneos.

3.12 Cuando el enunciado de una cuestión contiene los términos "tendencia" o "espontaneidad" es más probable que los alumnos respondan con explicaciones relativas

a la entropía del sistema. Estos vocablos actúan como detonantes para que salga a la luz el concepto de entropía.

3.13 Por el contrario, la idea de tendencia al equilibrio, no suele asociarse a la de aumento de entropía sino más bien a explicaciones mecánicas. Igualmente ocurre con las tendencias a la homogeneidad o a la uniformidad.

3.14 Es curioso el hecho que la tendencia al equilibrio sea relacionada con una causa de producirse un proceso, que se explique formalmente que en todo proceso de un sistema aislado la entropía aumenta, que se explique que hay una dirección preferente en los procesos y que en cambio no relacionen entropía y equilibrio.

3.15 Los estudiantes manifiestan una disociación entre los conceptos de equilibrio y desorden entendidos desde un punto de vista Termodinámico. El apego a la utilización cotidiana y con raíces éticas de la idea de orden ligada a la de equilibrio no ha conseguido superarse. El hecho de que el estado más probable de un sistema aislado sea el de equilibrio o de homogeneidad al haber aumentado su desorden (n^2 de microestados accesibles) no suele concebirse como tal.

3.16 La extensión a otros campos de los conceptos procedentes de la Mecánica del punto material es frecuente. Así, por ejemplo se extiende a sistemas termodinámicos la llamada tendencia a la mínima energía. Lo que debiera ser tendencia a la mínima energía libre o a la máxima entropía se imputa una vez más a esta especie de comodín que es la energía.

4. ACERCA DE LA SOLIDEZ DE LOS RAZONAMIENTOS.

4.1 Los estudiantes pueden responder correctamente a la definición de un concepto científico pero ello no conlleva que otras cuestiones planteadas en contexto científico se resuelvan bien. Y por el contrario puede ocurrir que se resuelvan bien y en cambio la definición sea incorrecta. Todo ello nos permite afirmar que preguntar por la definición de un concepto no nos permite asegurar cuán firme es la idea que cada estudiante tiene de tal concepto.

4.2 Es mayor el número de alumnos que pueden responder correctamente a una pregunta formulada en abstracto en un contexto científico que el número de los que responden bien

a la misma pregunta formulada en contexto cotidiano. Y viceversa, si una cuestión planteada en un contexto cotidiano se responde utilizando correctamente los conceptos científicos, es más probable que sea capaz de definirlos bien.

4.3 El análisis de las diversas respuestas correspondientes a los alumnos tomados individualmente revela que son frecuentes las inconsistencias. Denominamos inconsistencia a la falta de solidez o de firmeza con que se mantienen las concepciones y los razonamientos.

Así se ha podido constatar que unos mismos individuos pueden dar de un solo concepto diversas versiones contradictorias. Otros estudios podrían comprobar tal versatilidad planteando algunas cuestiones con datos numéricos o posibilitando la utilización de fórmulas algebraicas.

4.4 Los conceptos de trabajo, calor y energía pueden ser tratados por un solo estudiante con la acepción que científicamente se les da y con las visiones alternativas que hemos referido anteriormente. No podemos asociar una visión científica o alternativa a un estudiante ya que emplea una u otras dependiendo del contexto con que se plantea una cuestión y de otras variables desconocidas.

4.5 El hecho que un concepto científico pueda ser manejado correctamente y erróneamente por un mismo individuo, contradiciéndose en sus afirmaciones, plantea el problema de en qué momento podemos decir que se ha aprendido tal concepto. Parece que siempre podemos encontrar alguna situación en la que se utilice de forma inapropiada.

4.6 Además de una inconsistencia respecto conceptos científicos específicos, se ha constatado una inconsistencia del nivel de razonamiento utilizado para resolver problemas que requieren un encadenamiento de razonamientos acerca de hechos cotidianos.

Dos o más cuestiones acerca de una misma temática conceptual planteadas en un mismo contexto cotidiano pueden ser resueltas empleando argumentos, de diversa idoneidad y razonamientos de distinto nivel de complejidad y precisión conceptual.

4.7 No podemos afirmar cuáles son los condicionantes que favorecen la utilización de un nivel de complejidad u otro para dar explicación de un fenómeno cotidiano pero si podemos ya decir que no es suficiente tomar como referencia el que se sea capaz de aplicar unos conceptos teóricos en cierta circunstancia.

Ser capaz de aplicar un conocimiento a una situación cotidiana no implica ser capaz de hacerlo a otras situaciones cotidianas.

4.8 Nuestra mente parece más bien formada por pequeñas celdas cada una conteniendo cierto nivel de información -cierto aspecto particular de un concepto- pero sin o con escasa interconexión entre ellas que unas redes bien estructuradas con múltiples ramificaciones. Los estudios que desde distintos ámbitos se están realizando quizás podrán aclarar algún día tales extremos.

4.9 Si en un mismo individuo están sobrepuestas las concepciones correctas con las erróneas y si el nivel de complejidad conceptual con que se razona cuando se requiere encadenar diversos conceptos puede variar ampliamente, la adjudicación de un nivel de conocimientos a un individuo pasa a ser parcial y revisable. Las categorizaciones de los individuos están influidas por el contexto en que se proponga la cuestión y por la situación concreta que se plantee. Otros estudios podrían corroborar tales afirmaciones.

Antes de dar por finalizado este estudio quisiera hacer algunas puntualizaciones y plantear algunos interrogantes.

1º Las expresiones verbales de los alumnos respondiendo a unos cuestionarios han sido el instrumento del que me he valido para interpretar sus concepciones. Quizás podría objetarse que las palabras utilizadas no reflejan la realidad conceptual. Ante ello podría alegar.

a) Cada alumno tiene su forma personal de expresarse que queda patente en sus escritos pero no han sido tantos como alumnos los razonamientos con que se respondía a cada cuestión. Las respuestas a cada una han podido agruparse en un número reducido de categorías cada una de las cuales daba cuenta de cierta concepción.

b) Prácticamente en la totalidad de las cuestiones, las categorías han permitido catalogar las respuestas de estudiantes de dos niveles universitarios bien distintos. La frecuencia con que se mostraban unas u otras concepciones descendía o aumentaba en la línea de lo previsible. Además algunas de las concepciones ya habían emergido en los escritos de los alumnos de Primaria.

c) Las ideas más alejadas del pensamiento científico actual procedían de las respuestas a cuestiones planteadas en un contexto cotidiano y en cambio se notaba una mayor precisión en las preguntadas en contexto científico.

d) Los razonamientos pueden o no ser consistentes independientemente de la agudeza y fluidez verbal que se disponga y aquí, en muchos, casos hemos constatado inconsistencia tanto en la utilización de los conceptos científicos como en la del nivel de razonamiento.

2º Si bien se han detectado, en los alumnos de todos los niveles considerados, concepciones distintas a las aceptadas por la Ciencia actual, podemos ahora preguntarnos por sus causas.

La formación de conceptos alternativos por parte de los alumnos se observa en distintos campos de la Ciencia y es siempre una incógnita a despejar. Quisiera apuntar que, en el caso de la temática que nos ocupa, algunas condiciones pueden haberlos favorecido y están precisamente relacionadas con el lenguaje:

a) Algunas expresiones de nuestros alumnos significan reminiscencias de concepciones que se han dado a lo largo de la historia. Si bien las teorías han quedado suplantadas, los términos que las expresaban sobreviven en la tradición oral o escrita. Así parece ocurrir con el término calor.

b) Otras proceden de la necesidad de formarse imágenes concretas de los conceptos abstractos y de la utilización de metáforas y analogía para referirlos. Podrían buscarse las

causas psicológicas de esta forma de operar pero por el momento contamos sólo con este procedimiento para dar significación a los conceptos. En esta línea estaría la sustancialización de la energía y muchas de las expresiones que permiten imaginarla como un fluido.

c) Algunas imprecisiones proceden del lenguaje con el que han recibido su enseñanza: libros de texto, lenguaje de los profesores. En este punto quisiera detenerme porque abre un largo debate.

El lenguaje es siempre fruto de un acuerdo entre los parlantes sobre el significado que se otorga a las palabras. En particular, el lenguaje científico pretende, en principio, una univocidad de los términos que se emplean. Las diversas acepciones que nuestros alumnos dan a algunos vocablos las han podido aprender de sus profesores. ¿Es rechazable?

El papel del profesor, como transmisor de cultura, podría ser el de hacer comprensibles los contenidos que se encuentran en los libros, el de tender un puente entre el lenguaje de la cotidianidad y el lenguaje científico. Para ello utilizaría todas las formas verbales que considere más idóneas para que sus alumnos capten los conceptos que está enseñando. Algunos estudios (Ramírez et al. 1991) han mostrado que éste es el rol de un buen profesor y su ventaja con respecto a un buen libro. Pero ello implica no estar utilizando siempre todo el rigor en las palabras y, por tanto, el riesgo de que las conceptualizaciones de los alumnos no sean del todo correctas. Podrá, por ejemplo decir con toda tranquilidad que "el calor se ha convertido en trabajo"

Tiene también otra opción: utilizar únicamente un lenguaje científico preciso dando a cada expresión un significado estricto. En el caso de la Física, así puede procederse utilizando únicamente fórmulas algebraicas y evitando cualquier inexactitud en la expresión oral. Entonces quizás, las palabras que utilizarían los alumnos no se apartarían de las concepciones científicas pero el riesgo que puede derivarse es que los contenidos no sean asimilados, que no tengan significación alguna para la comprensión de los fenómenos cotidianos y que el sentido que algunos alumnos le den sea el de una pura elucubración.

El papel que el lenguaje científico ha de jugar y que desempeña en las aulas merecería un estudio en profundidad.

ANEXOS

Anexo a capítulo 1

Un ejemplo de utilización de la nomenclatura: transferencia de energía y transformación de energía.

Podemos nombrar las transferencias de energía que tienen lugar cuando damos cuerda a un reloj. Podemos también dar los nombres que convencionalmente se da a las correspondientes transformaciones de la energía.

Sistema	Sistema	Tipo de energía	DE	Modo a través del que la transferencia ocurre	Efecto	Transformaciones de energía
energía	energía	energía				
fuelle receptor		transferencia		transferencia ocurre		

1. Mano	Llave	W accel ang.	$+dW_{ext}$	Músculos mano	Girar la llave	1-2 E. muscular-E. cinética rotacional
2. Llave	Muelle del reloj	W accel ang.	$+dW_{ext}$	Transmisión Eje de muelle	Tensión del muelle	2-3 E. cinética rotat.-E. pot elástica
3. Muelle	Mecanismos del reloj	W. fuerzas elásticas	$+dW_{int}$	Transmisión por engranajes	Poner en funcionamiento	3-4 E. pot elástica-E. movimiento
4. Mecanismos	Agujas del reloj	W. accel ang.	$+dW_{int}$	Transmisión Eje de	Girar las Manecillas	4-5 E. movimiento agujas-E. movimiento incoherente o térmico
5. Manecillas	Aire y entorno	Disipación de energía	$-dQ$	Fricción con el aire	Calentamiento	Aumento de la temperatura
						partículas del entorno

Questionari O-1

1. Qué s'enten per energia?

2. Escribe tres o cuatro frases en las que utilices la palabra energia.

-

-

-

-

Questionari Q-2 Tipus II

A continuació trobaràs una sèrie de preguntes que ens agradaria que responguessis ben detalladament.

1. Un cotxe de joguina dels que se'ls dóna corda per a que corrin té energia?

Explica la teva resposta.....

.....

2. Un test amb flors que està dalt d'un balcó té energia?.....Explica la teva resposta

.....

.....

3. La pólvora té energia?.....Com ho justificaries?.....

.....

.....

4. Una viga està penjada d'una grua situada en un edifici que estan construït. La viga té energia?.....Per què?.....

.....

.....

5. Una bala que surt disparada d'una pistola té energia?Per què?.....

.....

.....

6. El butà té energia?.....Com ho provaries?.....

.....

.....

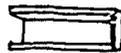
3.-A continuació veuràs 6 parelles de figures. Observant cada parella nota algunes diferències d'una figura a l'altra.



Per a que la planta creixi cal energia?.....Per què?.....
.....
.....



Per a que la llum s'encengui cal energia?.....Per què?.....
.....
.....



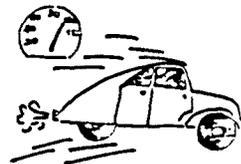
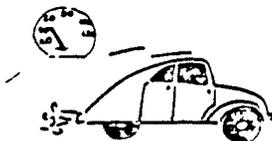
Per a que el llibre passi d'estar sobre la taula a estar sobre el pres tatge s'ha de proporcionar energia?.....
.....
.....



Xutar la pilota requereix energia?.....Com ho explicaries?.....
.....
.....



Per a que la camisa ja no estigui arrugada cal energia?.....Explica la resposta.....
.....
.....



Per a que el cotxe vagi més depressa ha sigut necessari aportar energia?.....Per què?.....
.....
.....

3. A continuació veuràs 6 parelles de figures. Observant cada parella veur algunes diferències d'una figura a l'altra.



Per a que el cotxe vagi més de pressa ha sigut necessari aportar energia
.....Per què?.....
.....



Per a que un ou fresc passi a ser un ou ferrat cal energia?.....Com ho
explicaries?.....
.....



Per a créixer i fer-se gran cal energia?.....Com és això?.....
.....
.....



Per a que la llum s'encenqui cal energia?.....Per què?.....
.....
.....



Xutar la pilota requereix energia?.....Com ho explicaries?.....
.....
.....



Per a ordenar aquestes olles cal energia?.....Per què?.....
.....
.....

QUESTIONARI 3-A

1. Què s'entén per energia?

2. Què indica el principi de conservació de l'energia?

3. Què significa degradació de l'energia?

4. Explica tan clarament com puguis el que diu la 2ona Llei de la Termodinàmica.

Té alguna conseqüència en la vida quotidiana? Explica-ho.

- 5.a) Escribe dues frases que incloguin la paraula entropia.

b) Què creus que deu ser més gran a temperatura ambient: l'entropia d'un mol de gel o la d'un mol d'aigua líquida? Per què?

6. En qualsevol canvi d'un sistema aïllat, l'entropia sempre augmenta? Explica-ho.

7. En un tub d'assaig s'han col·locat dues substàncies reaccionants. Al llarg de la reacció es van formant uns productes. Arriba un moment en que s'estableix l'equilibri. Explica què ha desencadenat la reacció i quan es produeix l'equilibri utilitzant algun/s d'aquests termes: energia, entropia, energia lliure.

8. Planck deia que el principi de conservació de l'energia era molt fàcil d'acceptar perquè permetia considerar l'energia com si fos una substància quasi-material. (Per tant, seria fàcil imaginar que sempre hi ha la mateixa quantitat d'energia). Altres col·legues deien que no podia fer-se aquest paral·lelisme perquè veiem que els objectes materials es gasten, es trenquen, es fan vells etc. i segons aquesta semblança què li passaria a l'energia. Qui tenia raó? Per què?

9. Trobes alguna explicació al fet que les coses es fan velles, es fan malbé, s'espatllen, es gasten? Explica-ho.

Hi ha alguna relació entre això i la 2ona Llei de la Termodinàmica? Per què?

10. Com és que si posem en contacte un cos calent amb un cos fred, la calor tendeix a passar del calent al fred i no a l'inrevés? Hi ha alguna llei o principi que tracti aquesta situació?

11. Recorda que un parell termoelèctric consisteix en dos metalls units per dues soldadures. Si es mantenen a temperatures diferents es crea una f.e.m. termoelèctrica, es genera un corrent elèctric. Amb aquest corrent elèctric poden realitzar-se diferents treballs.

Passem ara a la qüestió:

Un gran bloc de gel en el Sahara pot produir treball si fa funcionar una central termoelèctrica aprofitant la diferència de temperatures entre la sorra i el gel. Però per aquest procediment, el bloc de gel no pot fer treball en el Pol Nord. Si diem que l'energia és la capacitat de fer treball, què podem afirmar: el bloc de gel té energia o no? Explica-ho.

QUESTIONARI 3-B

1. Escriu dues frases que incloguin la paraula energia.
2. Podem dir que els combustibles tenen energia? Per què?
3. Un test amb flors dalt d'un balcó té energia? i un test sense flors? Per què?
4. Per a que un llibre passi d'estar sobre d'una taula a dalt d'un prestatge, cal energia?
Per què?
5. Una bala que surt disparada per una pistola té energia? Per què?
6. Si l'energia es conserva, per què es parla sovint de la crisi de l'energia?
7. Diem que en caure una pedra des de certa alçada l'energia potencial gravitatòria es va convertint en energia cinètica. En arribar a terra, l'energia es conserva?

Si fos així, per què no pot utilitzar aquesta energia per vèncer la gravetat i tornar a pujar per sí sola?

8. Quan un cotxe arriba al final del seu trajecte, ens preguntem: què s'ha fet de l'energia de la gasolina que s'ha gastat?

Si la tècnica fos millor, podríem recuperar tota l'energia?

Podríem recuperar-la parcialment? Per què?

9. Imagina que dones corda a un rellotge.

a) Pots dir que el rellotge té energia ? Per què?

b) Tothom sap que mentre la corda es desenrosca el rellotge funciona. Com és que existeix aquesta tendència a desenroscar-se?

c) Quan la molla s'ha descargolat del tot el rellotge es para. No podria per si sol tornar a recuperar la corda? Com és?

d) Creus que aquesta qüestió té quelcom en comú amb alguna llei de la Termodinàmica? Explica-ho.

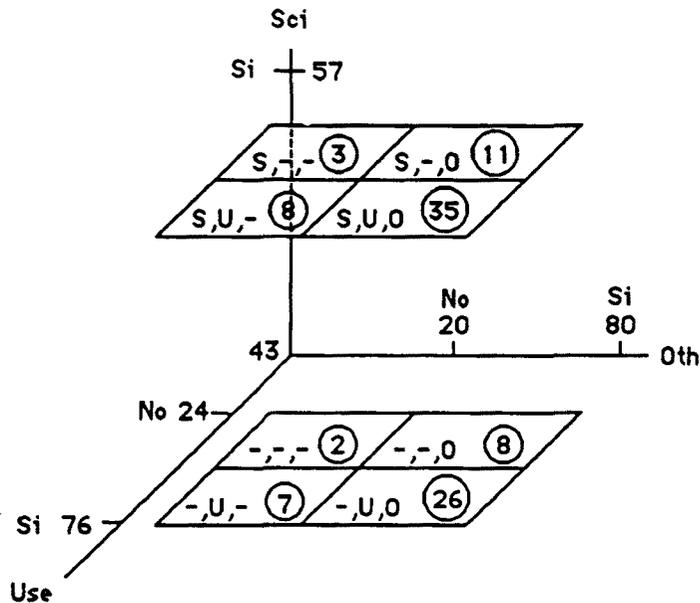
10. A continuació et citem dos processos que succeeixen entorn nostre: el ferro a l'aire lliure es rovella i el gel es fon a temperatura ambient. Podries explicar perquè de forma natural es produeixen aquests processos? Utilitza algun/s d'aquests conceptes: energia, entropia, energia lliure.

11. Si obrim la porta en una habitació que hi ha molt fum, aviat s'escampa per les habitacions del costat. Al final tot el fum queda distribuït per igual. Què impulsa aquest procés? Si pots, utilitza conceptes científics per respondre.

12. Uns diuen que l'energia és la capacitat de fer treball. D'acord amb la 2ona Llei de la Termodinàmica, en un sistema tancat, la capacitat de fer treball disminueix amb el temps. Per tant, segons això la 2ona Llei diu que l'energia disminueix. Si l'energia es conserva, què hi ha de contradictori en aquesta qüestió?

Anexo 1 a Capítulo 4

Experimentalmente se encuentra la siguiente distribución:



Podemos comparar con los resultados que estadísticamente esperaríamos. La probabilidad de que los alumnos den a la vez :

a) Respuestas Sci., Us, Oth. es:

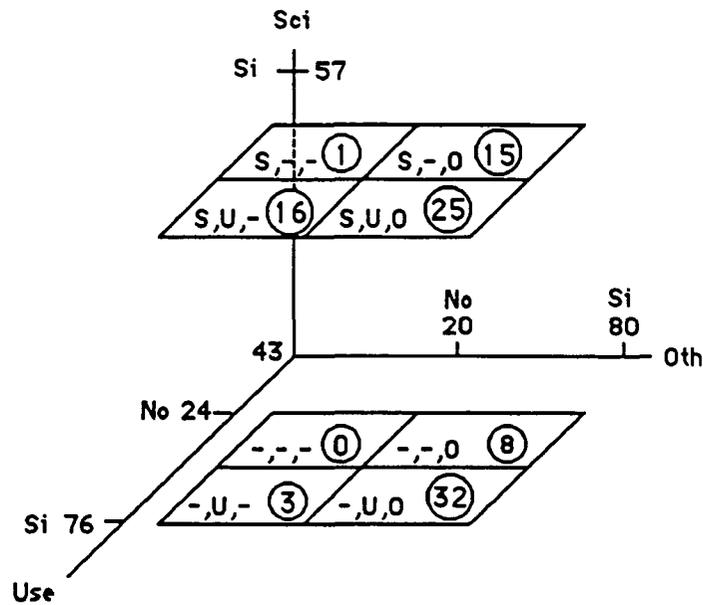
$$\frac{57}{100} \times \frac{76}{100} \times \frac{80}{100} \sim 35$$

b) Respuestas Sci.,Us, no Oth. es:

$$\frac{57}{100} \times \frac{76}{100} \times \frac{80}{100} \sim 8$$

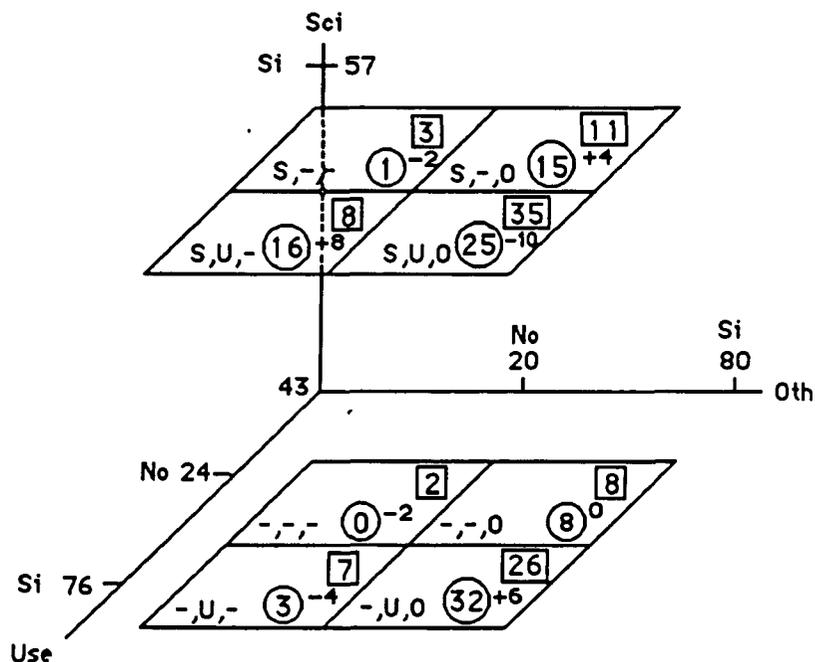
c) Etc...

La distribución que encontraríamos si la muestra se comportara como estadísticamente esperaríamos es:



Comparando los dos esquemas se observa lo siguiente:

Los alumnos que sólo hacen frases científicas (Sci.) son menos de los esperados. También hay menos alumnos de los esperados que hacen frases Us (referidas al uso de la energía). Muchos de los alumnos hacen frases de los dos tipos. Hay 8 alumnos (8%) más de los esperados que hacen frases Sci. y Us a la vez. Hay 4 alumnos (4%) más de los esperados que hacen frases Sci. y Oth. a la vez. Y hay 6 alumnos (6%) más de los esperados que hacen frases Oth. y Us. De todas maneras, hay 10 (25-35) alumnos menos de los esperados que hacen frases de los tres tipos, Sci., Us y Oth.. ¿Son estas diferencias significativas?



Observando detalladamente estos datos se constata que las diferencias sí son especialmente significativas.

Anexo 2 Capítulo 4

Podemos probar si es posible clasificar a los alumnos en alguna de las cuatro categorías

	T	no T	
L	35	13	48
no L	32	20	52
	67	33	100

32^{+3}	16^{-3}	48
35^{-3}	17^{+3}	52
67	33	100

No hay correlación $\chi^2 = 1.62$

Hay una distribución arbitraria en los cuatro tipos de respuestas. No podemos pues hacer una clasificación de los alumnos según sus respuestas a la primera cuestión.

Anexo 3 Capítulo 4

Para comparar los resultados de Q-1-1 con los de Q-1-2 es necesario clasificar a los alumnos de acuerdo con el conjunto de sus cuatro frases libres. El criterio de clasificación utilizado es:

- T x L** - Alumnos con una o más frases T y una o más frases L.
- T x no L** - Alumnos con una o más frases T y sin frases L.
- no T x L** - Alumnos sin frases T y con una o más frases L.
- no T x no L** - Alumnos sin frases T y sin frases L.

Como ya se ha visto en la página anterior, hay:

- 27 alumnos en el grupo **T x L**
- 38 alumnos en el grupo **T x no L**
- 19 alumnos en el grupo **no T x L**
- 16 alumnos en el grupo **no T x no L**

Se pueden asimilar estas categorías que proceden de las frases de Q-1-2 con las categorías procedentes de las respuestas a Q-1-1 (T, L, B y N). Procedemos a la siguiente biyección:

<u>En Q-1-2 correspondencia en Q-1-1</u>	
Grupo T x L	Grupo B
Grupo T x no L	Grupo T
Grupo no T x L	Grupo L
Grupo no T x no L	Grupo N

Ahora se pueden comparar los resultados obtenidos en Q-1-1 con los de Q-1-2. Para ello elaboramos la tabla de contingencia entre los pares de categorías:

		Q.1.1				
		T	L	B	N	
Q.1.2	T x no L	18 ⁺⁶	4 ⁻¹	10 ⁻³	6 ⁻²	38
	no T x L	3 ⁻³	3 ⁺¹	9 ⁺²	4 ⁰	19
	T x L	3 ⁻⁶	4 ⁰	12 ⁺³	8 ⁺³	27
	no T x no L	8 ⁺³	2 ⁰	4 ⁻²	2 ⁻¹	16
		32	13	35	20	

$\chi^2 = 16.4$
 Significación < 0.1, > 0.05
 $0,04 < p < 0,1$

Se observa que hay algunas consistencias en las respuestas de los alumnos a las dos diferentes cuestiones. Los alumnos que en la primera cuestión asocian la energía con el mundo de la técnica mantienen este punto de vista en la segunda cuestión. Lo mismo ocurre con el punto de vista vitalista y con el global (B = T x L). Pero observando la tabla se puede afirmar que la consistencia aparece especialmente en el grupo de alumnos que demuestran un punto de vista técnico en ambas cuestiones. También aparece la consistencia en el grupo de alumnos que muestran un punto de vista técnico cuando definen energía y no dan un punto de vista global (vitalista + técnico) al hacer frases libres. El punto de vista vitalista no parece estar en su mente.

Cogiendo algunas partes de la tabla:

		Q.1.1		
		T	B	
Q.1.2	T	18	10	28
	B	3	12	15
		21	22	43

$\chi^2 = 9$
 $0,001 < p < 0,01$

Los alumnos muestran un punto de vista global (B = T x L) en el primer cuestionario también se evidencia en el segundo. Y los alumnos que muestran un punto de vista técnico en el primero también lo evidencian en el segundo. ¿Podría ser que los alumnos tipo B tengan un nivel superior que aquellos que responden sólo en tipo T? ¿o viceversa?

No se puede confirmar después de la comparación de la siguiente tabla:

Q.1.1

→

		L	B	
Q.1.2	L			
	no TxL	3	9	12
	B			
	T x L	4	12	16
		7	21	28

$\chi^2 = 0$

De los alumnos vitalistas hay algunos con punto de vista técnico y algunos sin . Pero este $\chi^2 = 0$ significa que hay una distribución arbitraria. No hay un grupo claro con punto de vista técnico + vitalista y otro con vitalista + no técnico. Este grupo hipotético indicaría que L + T es de un nivel superior o que ser sólo L es de un nivel superior.

Anexo 4 Capítulo 4

Comparación de los resultados entre escuelas, para las cuestiones Q-1-1 y Q-1-2

Para obtener unos resultados más claros podemos clasificar las respuestas según se refieran al mundo de la técnica o no (dos primeras tablas) o bien estén o no centradas en el mundo de los seres vivos (las dos tablas inferiores)

	T	no T	
Esc. O	31	19	50
Esc. C	36	14	50
	67	33	100

$$\chi^2 = 1.12$$

	L	no L	
Esc. O	31 ⁺⁷	19	50
Esc. C	17	33	50
	48	52	100

$$\chi^2 = 7.8$$

	≥ 1T	no T	
Esc. O	27 ⁻⁵	23 ⁺⁵	50
Esc. C	37	13	50
	64	36	100

$$\chi^2 = 4.61 \quad 0.02 - 0.05$$

	≥ 1L	no L	
Esc. O	31 ⁺⁷	19 ⁻⁷	50
Esc. C	17	33	50
	48	52	100

4.14

$$\chi^2 = 7.8$$

Los valores de χ^2 nos permiten decir que son los alumnos de la escuela O los que hacen más frases tipo "vitalista" en las dos cuestiones. Los alumnos de la escuela C hacen más frases relacionadas con el mundo técnico. Estas diferencias son significativas.

Anexo 5 Capítulo 4

Comparación de los resultados por niveles:

Para conocer como influye el nivel de Primaria que cursen los alumnos en el tipo de función que asignan a la energía, se han elaborado dos nuevas tablas.

Q.1.1

	T	L	B	N	
6º	29	8	13	10	60
7º	3	5	22	10	40
	32	13	35	20	100

$$\chi^2 = 20.9$$
$$< 0.001$$

Q.1.2

	T	L	B	N	
6º	78	35	4	123	240
7º	27	32	0	101	160
	105	67	4	224	400

$$\chi^2 = 13.9$$
$$< 0.01$$

Estos son los resultados:

Los alumnos de 6º piensan más menudo que los de 7º que la energía es necesaria para las máquinas, vehículos, motores y objetos tecnológicos en general. El punto de vista técnico es más común en los alumnos de 6º tanto en la primera cuestión ($\chi^2 = 20,9$; $df = 3$; significación $< 0,001$) como en la segunda cuestión ($\chi^2 = 13,9$; $df = 3$; significación $< 0,01$). En 7º el punto de vista más frecuente es el de los seres vivos para la segunda cuestión y el que hemos calificado de "ambos" (técnico y vitalista) en la primera cuestión. Pero muy a menudo, en 7º, los alumnos no mencionan la función de la energía cuando se les pregunta "¿Qué significa la energía?" (Q-1-1).

Anexo 6 Capítulo 4

Comparación entre Naturaleza y Función

En las respuestas a Q-1-1 correspondientes a estas dos dimensiones se intenta averiguar si hay alguna relación:

Q.1.1

		NATURALEZA			
		Sci	Uses	Oth.	
FUNCION	T	21 ⁺²	9 ⁻¹	2 ⁻¹	32
	L	4 ⁻⁴	7 ⁺³	2 ⁺¹	13
	B	19 ⁻¹	14 ⁺³	2 ⁻²	35
	N	14 ⁺³	2 ⁻⁵	4 ⁺²	20
		58	32	10	100

$$\left. \begin{array}{l} \chi^2 = 13.5 \\ df = 6 \end{array} \right\} \text{significación} < 0.05$$

Y lo mismo de las respuestas a Q-1-2.

Q.1.2

		NATURALEZA			
		$\geq 2Sci$ $< 2Use$	$\geq 2Use$	$\geq 20th$ No 2S No 2U	
FUNCION	T x no L	10 ⁺³	16 ⁻²	12 ⁻¹	38
	no T x L	1 ⁻³	9 ⁰	9 ⁺³	19
	T x L	3 ⁻²	21 ⁺⁸	3 ⁻⁶	27
	no T x no L	5 ⁺²	1 ⁻⁶	10 ⁺⁴	16
		19	47	34	100

$$\left. \begin{array}{l} \chi^2 = 24.02 \\ df = 6 \end{array} \right\} \text{signif} < 0.001$$

(Se ha utilizado el mismo criterio para agrupar el conjunto de 4 frases por alumno que se usó anteriormente).

Observamos que hay una relación entre los resultados de las dos categorías. La relación aparece tanto en la primera cuestión ($\chi^2 = 13.5$; $df = 6$; significación $< 0,05$) como en la segunda ($\chi^2 = 24.02$; $df = 6$; significación $< 0,001$).

Anexo 7 a capítulo 4

Tablas de contingencia Naturaleza-Origen.

En la primera pregunta pocos alumnos se refieren al origen de la energía. Sólo 37 lo hacen, y 63 no. Por esta razón no queda clara la relación entre las respuestas en la dimensión de Naturaleza y las de dimensión Origen.

Q.1.1

		NATURALEZA			
		Sci	Uses	Oth	
ORIGEN	Tener	9 ⁰	5 ⁰	2 ⁰	16
	Hacer	5 ⁰	1 ⁻²	3 ^{+2,1}	9
	Transf + Conserv	7 ⁰	4 ⁰	1 ⁰	12
	No	37 ⁰	22 ⁺²	4 ⁻²	63
		58	32	10	100

$\chi^2 = 6.7$
df = 6 } Significación < 0.5

Usando el mismo criterio anterior para juntar las 4 frases por alumno en Q.1.2.

Q.1.2

	Al menos 2 Sci, no Uses	Al menos 2 Uses	No 2 Sci, no 2 Uses	
Al menos 2 H no 2M, no 2T	0 ⁻⁶	23 ⁺⁷	11 ⁻¹	34
Al menos 2 M	2 ⁺¹	1 ⁻¹	2 ⁰	5
Al menos 2 Tr, no 2M	2 ⁰	3 ⁰	1 ⁰	6
No 2H, no 2t, no 2M	15 ⁺⁵	20 ⁻⁶	20 ⁺¹	55
	19	47	34	100

$\chi^2 = 14.5$
df = 6 } signif < 0.05

En Q.1.2 se observa alguna relación entre las respuestas de las dimensiones Naturaleza y Origen. podemos hacer algunos cálculos ya que en Q.1.2 los alumnos hacen más frases sobre de donde proviene la energía que en Q.1.1.

Anexo 8 capítulo 4

Tablas de contingencia Función-Origen.

		FUNCION				
		Técnico	Vital	Ambos	Ninguno	
ORIGEN	Tener	3 ⁻²	3 ⁺¹	9 ⁺³	1 ⁻²	16
	Hecer	2 ⁻¹	1 ⁰	4 ⁺¹	2 ⁰	9
	Transfer	6 ⁺²	0 ⁻²	4 ⁰	2 ⁰	12
	No	21 ⁺¹	9 ⁺¹	18 ⁻⁴	15 ⁺²	63
		32	13	35	20	100

$$\left. \begin{array}{l} \chi^2 = 8.87 \\ df = 9 \end{array} \right\} \text{significación} < 0.3$$

		FUNCION				
		T x noL	noT x L	T x L	noT x noL	
ORIGEN	Al menos 2 H no 2M, no 2T	12 ⁻¹	10 ⁺⁴	10 ⁺¹	2 ⁻⁴	34
	Al menos 2 M	1 ⁻¹	1 ⁰	0 ⁻¹	3 ⁺²	5
	Al menos 2 T no 2 M	2 ⁰	0 ⁻¹	3 ⁺¹	1 ⁰	6
	< 2H, < 2M, < 2T	23 ⁺²	8 ⁻³	14 ⁻¹	10 ⁺²	55
		38	19	27	16	100

$$\left. \begin{array}{l} \chi^2 = 13.9 \\ df = 9 \end{array} \right\} \text{significación} \approx 0.1$$

No se observa la relación esperada.

Anexo 9 a Capítulo 4

Tabla de contingencia para Origen-Almacenamiento:

		ALMACENAMIENTO				
		$\geq 2Q$	$\geq 2Li$ no 2Q	$\geq 2W$ no 2Li no 2Q	$\geq 1N$, no 2Li, 2Q, 2W	
ORIGEN	Al menos 2 H no 2M, no 2T	8 ⁺³	7 ⁺⁵	1 ⁰	18 ⁻⁸	34
	Al menos 2 M	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁻¹	5 ⁺¹	5
	Al menos 2 T, no 2 M	1 ⁰	0 ⁻¹	0 ⁰	5 ⁺¹	6
	< 2H, < 2M, < 2T	4 ⁻³	0 ⁻⁴	3 ⁺¹	48 ⁺⁶	55
		13	7	4	76	100

$$\left. \begin{array}{l} \chi^2 = 25.7 \\ df = 9 \end{array} \right\} \text{Significación} < 0.01$$

Existe relación significativa entre las respuestas a los dos dominios.

Anexo 10 capítulo 4

Tablas de contingencia entre Naturaleza y Almacenamiento:

		NATURALEZA			
		≥ 2Sci no 2Use	≥ 2Uses	≥ 20th	
ALMACENAMIENTO	≥ 2Q	0 ⁻³	10 ⁺⁴	3 ⁻¹	13
	≥ 2Li, no 2Q	0 ⁰	6 ⁺²	1 ⁻²	7
	≥ 2W, no 2Li no 2Q	0 ⁻¹	3 ⁺¹	1 ⁰	4
	≥ 1N	19 ⁻⁴	28 ⁻⁷	29 ⁺³	76
		19	47	34	100

$$\chi^2 = 16.6$$

Relación significativa

Anexo 11 capítulo 4

Tabla de contingencia Función-Almacenamiento

		FUNCION				
		Tx no:L	Lx noT	T x L	noTx noL	
ALMACENAMIENTO	≥ 2Q	3 ⁻¹	3 ⁺¹	7 ⁺³	0 ⁻³	13
	≥ 2Li, no 2Q	5 ⁺²	1 ⁰	1 ⁻¹	0 ⁻¹	7
	≥ 2W, no 2Li no 2Q	2 ⁰	1 ⁰	1 ⁰	0 ⁰	4
	≥ 1N	28 ⁻¹	14 ⁻¹	18 ⁻²	16 ⁺⁴	76
		38	19	27	16	100

($\chi^2 = 10.8$; $df = 9$; significación < 0.2)

Relación no suficientemente significativa.

Anexo 12 capítulo 4

Para corroborar la hipótesis disponemos de los siguientes datos:

Procedentes de Q-1-1

NATURALEZA: Sci.....58
Us.....32
Oth.10

FUNCION: Técnico: T.32
Vitalista:L..13
Ambos:B ..35
Ningun:N..20

ORIGEN O PROCEDENCIA: ..

Tener: H...16
Hacer: M...9
Transfer:T .12
Sin menciónN63

Agrupamos:

P - Posesión = Tener + Hacer

P = H + M.....25

N- No = Transferir + Sin
mención: N= T + N75

Procedentes de Q-1-2.

NATURALEZA: Sci. 19 (≥ 2 Sci, no 2 Us)
Us 47 (≥ 2 Us)
Oth. 34 (No 2Sci, no 2 Us)

FUNCION: T.. 38 (T x no L)
L.. 19 (no T x L)
B.. 27 (T x L)
N.. 16 (no L x no T)

ORIGEN O PROCEDENCIA:

H.. 34 (≥ 2 H, no 2T, no 2M)
M . 5 (≥ 2 M)
T.. 6 (≥ 2 Tr, no 2M)
N.. 55 (no 2H, no 2T, no 2M)

Agrupamos:

P - Posesión = Tener + Hacer.

P = H+M 39

N- No = Transferir +Sin mención:
N = T + N.....61

Anexo a capítulo 4

Q.1.1

**Número de alumnos esperados
observados
con las respuestas**

Número de alumnos

STN = 58% . 32% . 75%	- 14%.....	19
SBN = 58% . 35% . 75%	- 15.2%.....	11
SNN = 58% . 20% . 75%	- 8.7%.....	13
STP = 58% . 32% . 25%	- 4.6%.....	2
SBP = 58% . 35% . 25%	- 5.1%.....	8
SNP = 58% . 20% . 25%	- 2.9%.....	1
SLN = 58% . 13% . 75%	- 5.6%.....	1
SLP = 58% . 13% . 25%	- 1.9%.....	3
OTN = 10% . 32% . 75%	- 2.4%.....	1
OTP = 10% . 32% . 25%	- 0.8%.....	1
OBN = 10% . 35% . 75%	- 2.6%.....	1
OBP = 10% . 35% . 25%	- 0.9%.....	1
ONN = 10% . 20% . 75%	- 1.5%.....	2
ONP = 10% . 20% . 25%	- 0.5%.....	2
OLN = 10% . 13% . 75%	- 1%.....	1
OLP = 10% . 13% . 25%	- 0.3%.....	1
UTN = 32% . 32% . 75%	- 7.7%.....	7
UTP = 32% . 32% . 25%	- 2.6%.....	2
UNN = 32% . 20% . 75%	- 4.8%.....	2
UBN = 32% . 35% . 75%	- 8.4%.....	10
ULN = 32% . 13% . 75%	- 3.1%.....	7
UNP = 32% . 20% . 25%	- 1.6%.....	0
UBP = 32% . 35% . 25%	- 2.8%.....	4
ULP = 32% . 13% . 25%	- 1%.....	0
	-----	-----
	100%	100

Más alumnos de los esperados en: STN, SNN, SBP, SLP, ONN, ONP, OLP, UBN, ULN, UBP.

Q.1.2

Número de alumnos esperados observados con las respuestas		Número de alumnos	
STN = 19% . 38% . 61%	= 4.4.....	4	- 10
SBN = 19% . 27% . 61%	= 3.1.....	3	- 3
SNN = 19% . 16% . 61%	= 1.8.....	2	- 4
STP = 19% . 38% . 39%	= 2.8.....	3	- 0
SBP = 19% . 27% . 39%	= 2.0.....	2	- 0
SNP = 19% . 16% . 39%	= 1.1.....	1	- 1
SLN = 19% . 19% . 61%	= 2.2.....	2	- 0
SLP = 19% . 19% . 39%	= 1.4.....	1	- 1
OTN = 34% . 38% . 61%	= 7.8.....	8	- 7
OBN = 34% . 27% . 61%	= 5.6.....	6	- 2
OTP = 34% . 38% . 39%	= 5.0.....	5	- 5
OBP = 34% . 27% . 39%	= 3.6.....	4	- 1
ONN = 34% . 16% . 61%	= 3.3.....	3	- 7
ONP = 34% . 16% . 39%	= 2.1.....	2	- 3
OLN = 34% . 19% . 61%	= 3.9.....	4	- 5
OLP = 34% . 19% . 39%	= 2.5.....	2	- 4
UTN = 47% . 38% . 61%	= 10.9.....	11	- 8
UTP = 47% . 38% . 39%	= 7.0.....	7	- 8
UNN = 47% . 16% . 61%	= 4.6.....	5	- 0
UBN = 47% . 27% . 61%	= 7.7.....	8	- 12
ULN = 47% . 19% . 61%	= 5.4.....	5	- 3
UNP = 47% . 16% . 39%	= 2.9.....	3	- 1
UBP = 47% . 27% . 39%	= 4.9.....	5	- 9
ULP = 47% . 19% . 39%	= 3.4.....	3	- 6
	-----	-----	
	100	100	

A continuación mostramos una tabla con los grupos con más alumnos de los previstos:

En Q.1.1 serán:	En Q.1.2	Según la hipótesis los grupos más grandes
STN - 19	10 - STN	STN
SNN - 13	4 - SNN	SNN
----	5 - SBN	SBN
SBP - 8	----	
SLP - 3		----
ONN	- 2 7	- ONN ONN
CNP - 2	----	
----	5 - OLN	
OLP - 1	----	
UBN - 10	12 - UBN	UBN
ULN - 7	----	ULN
UBP	- 4 9	- UBP UBP
----	6 - ULP	ULP

En la tercera columna también se ha incluido a los grupos SNN, SBN, UBN y ULN, ya que no contradicen la regla general. Estos grupos corresponden a alumnos que no mencionan el origen de la energía (el 75% si lo hace y el 25% no).

Observamos que los grupos con mayor número son los que esperábamos a partir de nuestra hipótesis.

Anexo a capítulo 5 para la cuestión 4. Correlación entre respuestas a 4a y 4b (O-3A)

¿Existe alguna correlación entre responder con un determinado enunciado de la 2ª ley (como se ha hecho en la cuestión 4a) y saber aplicarla a alguna situación cotidiana? (cuestión 4b).

Tablas de contingencia entre las categorías Di y las Ei, con los datos obtenidos en 1º Univ (Biol) y en 3º Físicas.

Para los alumnos de 3º

Observed Frequency Table

	D1	D2	D32	D42	Totals:
E111	10	2	6	3	21
E112	6	3	6	3	18
E3	0	0	1	0	1
Totals:	16	5	13	6	40

De los valores de la tabla parece haber mayor probabilidad que sepan aplicar a situación cotidiana la 2ª ley los que han dado como enunciado el de Kelvin-Planck.

Los valores estadísticamente esperados son:

Expected Values

	D1	D2	D32	D42	Totals:
E111	8.4	2.62	6.82	3.15	21
E112	7.2	2.25	5.85	2.7	18
E3	.4	.12	.32	.15	1
Totals:	16	5	13	6	40

Si observamos la siguiente tabla estadística nos damos cuenta que no son significativos las diferencias entre los valores observados. No hay pues mayor probabilidad de saber

aplicar la 2ª ley entre los alumnos de 3º que dan cierto enunciado que los que dan otro distinto.

Coded Chi-Square X₁: DI 3rd Y₁: Column 3

Summary Statistics

DF:	6
Total Chi-Square:	3.125 p=.7931
G Statistic:	•
Contingency Coefficient:	.269
Cramer's V:	.198

Para los alumnos de 1º.

Las categorías en que se han dividido las respuestas son muchas y convendrá agrupar.

Agrupamos las respuestas del siguiente modo: D_2 y D_{32} les corresponderá 2

D_{31} , D_{33} , D_{41} , les corresponderá 1 y a D_{41} , D_5 les corresponderá 0.

De modo análogo, agrupamos los valores de E_i : E_{111} le corresponderá 2, E_{112} les corresponderá 1 y E_{12} , E_2 y E_3 les corresponderá 0.

Hacemos la tabla de contingencia colocando en el eje y los E_i y en el eje x los D_i agrupados

Observed Frequency Table

	0	1	2	Totals:
0	34	61	0	95
1	1	15	0	16
2	1	28	1	30
Totals:	36	104	1	141

Expected Values

	0	1	2	Totals:
0	24.26	70.07	.67	95
1	4.09	11.8	.11	16
2	7.66	22.13	.21	30
Totals:	36	104	1	141

Coded Chi-Square X₂: D1 colap. Y₂: E1 colap.

Summary Statistics

DF:	4
Total Chi-Square:	19.335 p=.0007
G Statistic:	.
Contingency Coefficient:	.347
Cramer's V:	.262

Son estadísticamente significativas las respuestas de modo que responder de cierto modo en la cuestion 4a (Di) hace mas probable que se responda de cierto modo en 4b (Ei). Pero, comparando la tabla de valores observados y la de valores esperados nos damos cuenta que las mayores diferencias, las que hacen significativa la relación entre Ei y Di son las categorías de los "sin respuesta" y las de respuestas de baja calidad. ¿Podemos decir que una respuesta totalmente correcta en Di o sea un enunciado correcto de la 2ª ley, condicione una buena aplicación en situaciones cotidianas.

Si tomamos en cuenta la corrección con que se enuncia la 2ª ley, es decir las categorías D'i, podemos hacer la tabla de contingencia con los valores Ei correspondientes a saber aplicar la 2ª ley a situaciones cotidianas.

Observed Frequency Table

	D'1	D'2	D'3	D'4	Totals:
E3	13	14	22	34	83
E12	1	5	4	0	10
E111	14	6	9	1	30
E112	9	5	2	0	16
E2	2	0	0	0	2
Totals:	39	30	37	35	141

	Expected Values				Totals:
	D'1	D'2	D'3	D'4	
E3	22.96	17.66	21.78	20.6	83
E12	2.77	2.13	2.62	2.48	10
E111	8.3	6.38	7.87	7.45	30
E112	4.43	3.4	4.2	3.97	16
E2	.55	.43	.52	.5	2
Totals:	39	30	37	35	141

Coded Chi-Square X₁: D'i Y₁: E_i

Summary Statistics

DF:	12
Total Chi-Square:	47.514 p=.0001
G Statistic:	*
Contingency Coefficient:	.502
Cramer's V:	.335

Podemos agrupar los valores de D'i para tener tablas de contingencia con menor número de grados de libertad: a D'1 le corresponderá 2, D'2 le corresponderá 1 y a D'3 y d'4 les corresponderá 0. Las agrupaciones de E_i como antes.

Observed Frequency Table

	0	1	2	Totals:
0	60	19	16	95
1	2	5	9	16
2	10	6	14	30
Totals:	72	30	39	141

Expected Values

	0	1	2	Totals:
0	48.51	20.21	26.28	95
1	8.17	3.4	4.43	16
2	15.32	6.38	8.3	30
Totals:	72	30	39	141

Coded Chi-Square X₂: DI agrup. Y₂: El agrup.

Summary Statistics

DF:	4
Total Chi-Square:	22.738 p=.0001
G Statistic:	23.646
Contingency Coefficient:	.373
Cramer's V:	.284

Tambien en este caso encontramos diferencias significativas en estos alumnos de 1^º entre responder correctamente a la 2^a ley y saber aplicarla a situaciones cotidianas.

Pero como ha quedado dicho: Lo único que podremos establecer es que los alumnos que conocen la 2^a ley son más capaces de aplicarla a situaciones concretas que los que la ignoran, lo cual era ya evidente.

Anexo a capítulo 5 para la cuestión 5a (O-3A)

Tabla de contingencia entre los Fi de las dos frases correspondiente a alumnos de 1º Universidad (Biológicas)

Observed Frequency Table

	F1	F2	F3	F4	Totals:
F1	3	11	0	0	14
F2	4	71	5	0	80
F4	1	20	0	17	38
F3	0	6	3	0	9
Totals:	8	108	8	17	141

Expected Values

	F1	F2	F3	F4	Totals:
F1	.79	10.72	.79	1.69	14
F2	4.54	61.28	4.54	9.65	80
F4	2.16	29.11	2.16	4.58	38
F3	.51	6.89	.51	1.09	9
Totals:	8	108	8	17	141

Coded Chi-Square X₁: Column 1 Y₁: Column 2

Summary Statistics

DF:	9
Total Chi-Square:	73.046 p=.0001
G Statistic:	•
Contingency Coefficient:	.584
Cramer's V:	.416

Es pues más probable que el tipo de contexto utilizado en la primera frase se dé también en la segunda.

Anexo a capítulo 5 para la cuestión 2 de O-3B)

Relación entre la definición de energía y los argumentos utilizados para justificar que los combustibles tienen energía:

Para los estudiantes de 1ª Universidad (Biológicas)

Observed Frequency Table

	P11	no P11	Totals:
A1	24	41	65
no A1	18	58	76
Totals:	42	99	141

Expected Values

	P11	no P11	Totals:
A1	19.36	45.64	65
no A1	22.64	53.36	76
Totals:	42	99	141

Coded Chi-Square X₁: P11 Y₁: A1

Summary Statistics

DF:	1	
Total Chi-Square:	2.936	p=.0866
G Statistic:	2.935	
Contingency Coefficient:	.143	
Phi:	.144	
Chi-Square with continuity correction:	2.337	p=.1263

El valor de χ^2 es muy pequeño. No hay correlación.

Para los estudiantes de 3º de Físicas

Observed Frequency Table

	P11	no P11	Totals:
A1	13	10	23
no A1	6	11	17
Totals:	19	21	40

Expected Values

	P11	no P11	Totals:
A1	10.93	12.07	23
no A1	8.07	8.93	17
Totals:	19	21	40

Coded Chi-Square X₁: P11 3er Y₁: A1
Summary Statistics

DF:	1	
Total Chi-Square:	1.766	p=.1838
G Statistic:	1.785	
Contingency Coefficient:	.206	
Phi:	.21	
Chi-Square with continuity correction:	1.018	p=.3131

No podemos asegurar que haya correlación entre el argumento utilizado para justificar que los combustibles tienen energía porque pueden realizar trabajo y la definición de energía dada por cada uno. χ^2 es demasiado pequeña. Con frecuencia, los estudiantes hacen razonamientos sobre el concepto de energía que no corresponden a la definición que han dado previamente.

Anexo a capítulo 5 para cuestión 4 de O-3B

Tabla de contingencia:

Justificación de la respuesta mediante el argumento R₁₂ - definición de energía como capacidad de hacer trabajo que es el grupo A₁ (ver cuestión 1-Q-3A).

Para el grupo de 1^º Universidad (Biolog):

Observed Frequency Table

	R12	no R12	Totals:
A1	25	40	65
no A1	14	62	76
Totals:	39	102	141

Expected Values

	R12	no R12	Totals:
A1	17.98	47.02	65
no A1	21.02	54.98	76
Totals:	39	102	141

**Coded Chi-Square X₁: R12 Y₁: A1
Summary Statistics**

DF:	1	
Total Chi-Square:	7.032	p=.008
G Statistic:	7.069	
Contingency Coefficient:	.218	
Phi:	.223	
Chi-Square with continuity correction:	6.066	p=.0138

El valor de χ^2 es insuficiente para decir que hay mayor probabilidad de dar tal definición de energía y justificar la respuesta a esta pregunta (4 de Q-3B) mediante R12.

Para el grupo de 3º de Físicas:

Observed Frequency Table

	R12	no R12	Totals:
A1	13	11	24
no A1	7	9	16
Totals:	20	20	40

Expected Values

	R12	no R12	Totals:
A1	12	12	24
no A1	8	8	16
Totals:	20	20	40

Coded Chi-Square X₁: R12 Y₁: A1

Summary Statistics

DF:	1	
Total Chi-Square:	.417	p=.5186
G Statistic:	.418	
Contingency Coefficient:	.102	
Phi:	.102	
Chi-Square with continuity correction:	.104	p=.7469

También para este grupo de estudiantes, el valor de χ^2 es demasiado pequeño para poder decir que los que han dado tal definición de energía la utilizarán con gran probabilidad para argumentar la respuesta a esta cuestión 4 (Q-3B).

No observamos pues, que exista coherencia entre dar una definición de un concepto y utilizarla para dar argumentos sobre tal concepto. ¿Es una casualidad para esta cuestión o es frecuente la incoherencia entre definiciones y una conceptualizaciones de lo definido? Nuevas cuestiones nos permitirán tener más datos.

Anexo capítulo 5 para cuestión 5 de O-3B

Tabla de contingencia:

Justificación de la respuesta mediante el argumento S₁₃ - definición de energía como capacidad de hacer trabajo que es el grupo A₁ (ver cuestión 1-Q-3A).

Para los estudiantes de 1º Universidad (Biológicas)

Observed Frequency Table

	S13	no S13	Totals:
A1	11	54	65
no A1	9	67	76
Totals:	20	121	141

Expected Values

	S13	no S13	Totals:
A1	9.22	55.78	65
no A1	10.78	65.22	76
Totals:	20	121	141

Coded Chi-Square X₁: S13 Y₁: A1

Summary Statistics

DF:	1	
Total Chi-Square:	.743	p=.3887
G Statistic:	.741	
Contingency Coefficient:	.072	
Phi:	.073	
Chi-Square with continuity correction:	.384	p=.5353

El valor de χ^2 es muy pequeño para poder decir que hay relación entre dar tal argumento y dar tal definición.

Para los estudiantes de 3º de Físicas:

Observed Frequency Table

	S13	no S13	Totals:
A1	13	11	24
no A1	7	9	16
Totals:	20	20	40

Expected Values

	S13	no S13	Totals:
A1	12	12	24
no A1	8	8	16
Totals:	20	20	40

Coded Chi-Square X₁: S13 Y₁: A1

Summary Statistics

DF:	1	
Total Chi-Square:	.417	p=.5186
G Statistic:	.418	
Contingency Coefficient:	.102	
Phi:	.102	
Chi-Square with continuity correction:	.104	p=.7469

El valor de χ^2 es pequeñísimo y por tanto el valor de p elevadísimo.

Los valores observados son tan similares a los estadísticamente esperados que no podemos decir que haya relación alguna entre dar una definición de energía y utilizarla para justificar la respuesta a esta cuestión 5 de Q-3B

Anexo 1 a Capítulo 6

Porcentajes de respuestas correctas de los alumnos de 3º de Físicas en las cuestiones referentes a la 2ª Ley de la Termodinámica

Cuestión	Código	Frecuencia de la máxima puntuación	Porcentaje de alumnos que lo han obtenido
Q-3A-5b	Gi	76	95%
Q-3A-6	Hi	72	90%
Q-3B-9d	W''i	70	87.5%
Q-3A-9b	K'i	66	82.5%
Q-3A-10	Li	65	81.2%
Q-3A-10	L'i	63	78.7%
Q-3A-3	Ci	61	76.2%
Q-3A-4a	Di	61	76.2%
Q-3A-5a	E'i	61	76.2%
Q-3A-9a	Ki	60	75%
Q-3A-4b	Ei	60	75%
Q-3B-6	Ti	60	75%
Q-3B-9b	W'i	59	73.7%
Q-3B-8b+c	V'i	56	70%
Q-3B-11	Yi	53	66.2%
Q-3B-7b	U'i	52	65%
Q-3B-10	Xi	47	58.7%
Q-3B-9c	W'i	45	56.2%
Q-3A-5a	Fi1ª	44	55%
Q-3A-5a	Fi2ª	41	51.2
Q-3B-12	Zi	28	35%
Q-3A-11	Mi	20	25%

Las preguntas que han sido bien contestadas por un mayor número de estudiantes de 3º corresponden a las formuladas en un contexto científico.

Anexo 2 a capítulo 6

Porcentaje de estudiantes de 3º de Físicas de los grupos T, M y L que han obtenido la máxima puntuación en cada cuestión referente a la 2ª Ley de la Termodinámica

<u>Cuestión</u>	<u>Código</u>	<u>Grupo T</u>	<u>Grupo M</u>	<u>Grupo L</u>
Q-3A-5b	Gi	100%	100%	84.5%
Q-3A-6	Hi	100%	92%	77%
Q-3B-9d	W''i	92.3%	85.7%	84.5%
Q-3A-9b	K'i	92%	78.5%	61.5%
Q-3A-10	Li	100%	93.7%	38.5%
Q-3A-10	L'i	92.3%	92.8%	46%
Q-3A-3	Ci	84.5%	78.5%	46.1%
Q-3A-4a	Di	61.5%	57.1%	38.4%
Q-3A-5a	E'i	76.9%	64.2%	53.8%
Q-3A-9a	Ki	77%	42.8%	46.1%
Q-3A-4b	Ei	53.8%	42.8%	61.5%
Q-3B-6	Ti	84.6%	78.5%	46.1%
Q-3B-9b	W''i	92.3%	64.2%	46.1%
Q-3B-8b+c	V'i	92.3%	50%	38.5%
Q-3B-11	Yi	69.2%	78.5%	7.6%
Q-3B-7b	U'i	53.8%	35.7%	30.7%
Q-3B-10	Xi	61.5%	35.7%	23.1%
Q-3B-9c	W'i	38.5%	28.5%	23.1%
Q-3A-5a	Fi1ª	23.1%	21.4%	7.6%
Q-3A-5a	Fi2ª	30.7%	14.2%	7.6%
Q-3B-12	Zi	38.5%	21.4%	0%
Q-3A-11	Mi	0%	7.1%	7.6%

Se observa que discriminan las cuestiones cuyos códigos son: Hi, K'i, Li, E'i, W''i, V'i, U'i, Xi, W'i, Fi 2ª, Zi.

RELACIONES CITADAS, POR CADA ALUMNO DE
 3º de FÍSICAS, ENTRE LOS CONCEPTOS IMPLÍCITOS
 EN LOS DIVERSOS ENUNCIADOS DE LA 2ª LEY

St	Dg-QW	Dg-2L	Dg-ΔS	Dg-Or	Dg-P	QW-2L	QW-ΔS	QW-Or	QW-P	2L-ΔS	2L-Or	2L-P	ΔS-Or	ΔS-P	Or-P	Suma	Level
1	•	31	22	12	13	25	1	1	11	29	14	35	39	36	26	•	•
2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	13	T
3	37	1	1	1	•	1	•	•	1	1	•	1	1	1	1	11	T
4	21	1	1	1	1	1	•	•	•	1	•	1	1	1	1	11	T
5	12	1	1	•	1	1	•	•	1	•	1	1	1	1	1	10	T
6	23	1	1	1	1	1	•	•	1	1	•	1	1	1	•	10	T
7	24	1	1	•	1	1	•	•	1	1	1	1	1	1	1	10	T
8	40	1	1	1	1	1	•	•	•	1	1	1	1	1	•	10	T
9	35	1	1	1	•	1	•	•	•	1	1	1	1	1	1	9	T
10	8	1	1	1	•	•	•	•	•	1	1	1	1	1	1	9	T
11	18	1	1	•	•	1	•	•	•	1	1	1	1	1	1	9	T
12	39	1	•	•	1	1	•	•	1	1	1	1	1	1	•	9	T
13	5	1	1	•	•	1	•	•	•	1	1	1	1	1	1	9	T
14	31	1	1	•	•	1	•	•	1	1	1	•	1	1	1	9	T
15	32	•	1	•	1	•	•	•	•	1	1	1	1	1	•	8	M
16	14	1	•	1	1	•	•	•	•	1	•	1	1	1	1	8	M
17	25	1	1	•	•	•	•	•	•	1	1	1	1	1	1	8	M
18	29	1	•	•	•	1	•	•	1	1	•	1	1	1	1	8	M
19	13	1	1	•	•	1	•	•	•	1	•	1	1	1	•	7	M
20	16	1	•	•	1	1	•	•	•	•	1	1	1	1	1	7	M
21	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	7	M
22	6	1	1	•	•	1	•	•	•	•	•	1	1	1	1	7	M
23	10	•	•	•	1	•	•	•	•	1	•	1	1	1	1	7	M
24	4	1	•	•	•	1	•	•	1	1	•	1	1	1	0	7	M
25	7	1	1	1	•	•	•	•	•	•	•	1	1	1	1	7	M
26	22	1	•	1	•	•	•	•	•	1	•	1	1	1	1	7	M
27	33	1	•	•	•	•	•	•	1	1	•	1	1	1	1	7	M
28	26	•	1	1	•	•	•	•	•	1	•	1	1	1	1	7	L
29	34	1	1	•	•	1	•	•	•	•	•	1	1	1	1	7	L
30	36	•	1	1	1	•	•	•	•	1	•	1	1	1	•	7	L
31	19	•	•	•	•	1	•	•	•	1	1	1	1	1	1	7	L
32	30	1	•	•	•	1	•	•	•	•	1	1	1	•	1	6	L
33	3	1	•	•	1	1	•	•	•	•	•	1	1	•	1	6	L
34	27	•	•	•	•	1	•	•	•	1	•	1	1	1	1	6	L
35	9	•	1	•	•	1	•	•	•	1	•	1	1	1	1	6	L
36	17	1	•	•	1	•	•	•	•	1	•	1	1	1	1	6	L
37	15	•	•	•	•	1	•	•	1	1	•	1	1	1	•	5	L
38	20	•	•	•	•	1	•	•	•	•	•	1	1	1	1	5	L

	Si	Dg-QW	Dg-2L	Dg-ΔS	Dg-Or	Dg-P	QW-2L	QW-ΔS	QW-Or	QW-P	2L-ΔS	2L-Or	2L-P	ΔS-Or	ΔS-P	Or-P	Suma	Level
39		1	•	•	•	•	1	•	•	1	•	•	•	1	1	•	5	L
40		1	•	1	•	•	1	•	•	•	1	•	•	1	•	•	5	L
41		1	•	•	•	•	•	•	•	•	1	1	•	1	•	•	4	•

	Ci	Di	Ei	E'i	Fi 1º	Fi 2º	Gi	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	U'i	V'i	W'i	W''i	W'''i	Xi	Yi	Zi	Stud	Punt...	
37	1	2	1	2	1	0	0	2	1	2	0	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	0	0	15	22
38	0	1	2	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	2	2	2	2	1	2	1	1	1	0	20	21
39	0	1	1	0	1	1	2	2	2	2	2	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	26	19
40	2	1	2	0	1	1	2	0	2	2	1	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	1	0	11	19
41	0	2	2	1	2	1	2	0	1	0	0	2	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1	28	18

CATEGORIAS ASIGNADAS A CADA ALUMNO DE 1º UNIVERS.

EN LAS CUESTIONES REFERENTES A LA 2ª LEY (14)ALUMNO.

Stud	Ci	Di	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	Ui	U'i	Vi	V'i	W'i	W'i	W''i	Xi	X'i	X''i	Yi	Zi	Gi
1	C3	D5	H13	K3	K3	L11	L5	M5	T12	U11	U3	V4	V'212	W'4	W'1	W'''3	X2	X'11	X''22	Y111	Z0	G22
2	C4	D42	H5	K4	K3	L7	L5	M5	T3	U21	U5	V23	V'212	W'2	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''21	Y113	Z0	G11
3	C22	D5	H5	K4	K3	L3	L5	M2	T21	U3	U5	V4	V'3	W'9	W'1	W'''3	X2	X'21	X''21	Y111	Z22	G3
4	C22	D41	H5	K2	K3	L16	L4	M2	T13	U11	U'42	V1	V'3	W'3	W'2...	W'''3	X2	X'21	X''21	Y122	Z212	G22
5	C22	D42	H22	K2	K'121	L16	L5	M2	T12	U11	U'41	V24	V'211	W'5	W'2...	W'''3	X2	X'11	X''22	Y111	Z211	G21
6	C22	D42	H21	K3	K'11	L2	L4	M2	T21	U11	U'42	V22	V'214	W'6	W'2...	W'''3	X3	*	*	Y3	Z211	G11
7	C11	D32	H13	K3	K'11	L11	L5	M1	T22	U12	U'43	V1	V'12	W'4	W'2...	W'''3	X2	X'21	X''21	Y111	Z211	G11
8	C11	D42	H5	K1	K'121	L3	L1	M2	T22	U11	U5	V24	V'3	W'2	W'5	W'''3	X3	*	*	Y3	Z0	G12
9	C11	D5	H21	K3	K3	L12	L5	M2	T22	U12	U'43	V1	V'12	W'5	W'2...	W'''3	X2	X'12	X''22	Y111	Z212	G21
10	C21	D32	H22	K3	K3	L7	L5	M5	T11	U3	U3	V1	V'3	W'4	W'5	W'''3	X2	X'11	X''22	Y3	Z0	G11
11	C4	D33	H13	K3	K'11	L12	L5	M2	T12	U11	U'43	V25	V'211	W'6	W'4	W'''3	X111	*	*	Y112	Z0	G11
12	C21	D32	H22	K3	K'11	L13	L5	M5	T12	U11	U'41	V23	V'12	W'3	W'1	W'''...	X13	*	*	Y111	Z0	G11
13	C21	D31	H21	K3	K'11	L4	L5	M1	T12	U11	U2	V23	V'213	W'1	W'1	W'''...	X2	X'21	X''3	Y122	Z0	G11
14	C3	D41	H4	K4	K3	L16	L5	M1	T12	U11	U2	V24	V'3	W'5	W'2...	W'''3	X3	*	*	Y113	Z0	G11
15	C4	D41	H4	K3	K3	L15	L5	M5	T3	U3	U5	V21	V'211	W'9	W'2...	W'''3	X3	*	*	Y123	Z0	G11
16	C4	D42	H3	K3	K3	L11	L5	M5	T12	U11	U5	V24	V'214	W'3	W'2...	W'''3	X3	*	*	Y111	Z211	G23
17	C123	D32	H5	K3	K3	L7	L5	M5	T13	U3	U5	V24	V'3	W'4	W'1	W'''3	X111	*	*	Y123	Z0	G11
18	C4	D32	H13	K4	K3	L4	L5	M5	T21	U12	U'43	V23	V'212	W'5	W'2...	W'''3	X2	X'12	X''3	Y111	Z0	G21
19	C22	D5	H5	K4	K3	L4	L5	M3	T13	U3	U'41	V27	V'212	W'3	W'2...	W'''3	X2	X'21	X''3	Y123	Z1	G13
20	C4	D31	H5	K4	K3	L7	L5	M3	T12	U3	U'42	V24	V'212	W'2	W'1	W'''3	X3	*	*	Y3	Z0	G23
21	C11	D5	H5	K3	K'11	L4	L5	M2	T3	U11	U3	V24	V'22	W'6	W'31	W'''...	X2	X'22	X''22	Y111	Z0	G11
22	C11	D32	H13	K4	K3	L16	L4	M1	T21	U11	U2	V22	V'213	W'2	W'1	W'''...	X112	*	*	Y121	Z0	G11
23	C21	D5	H5	K3	K3	L11	L5	M2	T3	U11	U5	V27	V'212	W'6	W'31	W'''...	X2	X'22	X''22	Y111	Z0	G11
24	C22	D32	H22	K2	K'11	L11	L5	M4	T13	U21	U'41	V1	V'212	W'8	W'2...	W'''...	X112	*	*	Y122	Z214	G23
25	C122	D42	H13	K3	K3	L11	L5	M4	T22	U21	U2	V1	V'213	W'4	W'1	W'''...	X2	X'12	X''21	Y111	Z211	G11
26	C11	D32	H21	K1	K'11	L5	L5	M2	T12	U12	U'43	V24	V'11	W'5	W'30	W'''...	X2	X'11	X''12	Y122	Z211	G11
27	C11	D32	H5	K2	K'11	L16	L5	M1	T13	U12	U'43	V27	V'22	W'2	W'1	W'''3	X112	*	*	Y124	Z0	G11
28	C4	D32	H3	K3	K'11	L12	L5	M1	T13	U3	U5	V21	V'12	W'9	W'5	W'''3	X3	*	*	Y3	Z0	G3
29	C3	D31	H13	K4	K3	L2	L2	M2	T3	U12	U'43	V23	V'212	W'5	W'2...	W'''3	X111	*	*	Y111	Z0	G11
30	C3	D31	H13	K4	K3	L2	L2	M2	T3	U12	U'43	V25	V'211	W'9	W'2...	W'''3	X2	X'3	X''11	Y111	Z214	G11
31	C11	D32	H13	K1	K'11	L7	L5	M5	T12	U22	U'43	V23	V'212	W'8	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''3	Y121	Z0	G11
32	C121	D42	H22	K4	K3	L16	L5	M4	T22	U3	U5	V22	V'3	W'5	W'31	W'''3	X2	X'11	X''22	Y113	Z1	G11
33	C11	D32	H22	K3	K'11	L7	L5	M2	T11	U22	U'43	V24	V'3	W'9	W'5	W'''3	X111	*	*	Y111	Z22	G3
34	C22	D42	H3	K4	K3	L7	L5	M0	T22	U21	U3	V23	V'211	W'3	W'2...	W'''...	X112	*	*	Y3	Z0	G11
35	C4	D42	H22	K3	K'11	L12	L4	M3	T12	U12	U'43	V21	V'212	W'6	W'5	W'''3	X3	*	*	Y3	Z0	G11
36	C122	D32	H21	K1	K'11	L11	L4	M2	T12	U11	U'41	V1	V'3	W'9	W'5	W'''3	X3	*	*	Y3	Z0	G11
37	C121	D5	H4	K3	K3	L11	L5	M5	T21	U3	U5	V4	V'3	W'3	W'2...	W'''3	X13	*	*	Y124	Z0	G13
38	C11	D5	H5	K4	K3	L12	L5	M3	T3	U11	U5	V1	V'3	W'4	W'1	W'''3	X3	*	*	Y111	Z22	G3
39	C11	D32	H21	K1	K'11	L11	L5	M3	T3	U11	U5	V25	V'212	W'3	W'1	W'''...	X112	*	*	Y122	Z0	G21
40	C22	D5	H13	K3	K3	L7	L5	M2	T3	U11	U5	V1	V'212	W'5	W'2...	W'''3	X2	X'11	X''12	Y111	Z23	G11
41	C4	D32	H21	K4	K3	L7	L5	M5	T3	U3	U5	V1	V'212	W'9	W'1	W'''3	X3	*	*	Y121	Z0	G11
42	C4	D32	H21	K1	K'11	L11	L5	M4	T21	U12	U'43	V23	V'212	W'4	W'2...	W'''3	X111	*	*	Y111	Z213	G12

Snud	Ci	Di	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	Ui	U'i	Vi	V'i	W'i	W''i	W'''i	Xi	X'i	X''i	Yi	Zi	Gi
43	C11	D32	H5	K4	K'3	L5	L'5	M2	T21	U12	U'43	V23	V'3	W'2	W''3	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
44	C11	D32	H14	K1	K'11	L14	L'14	M4	T11	U11	U'5	V21	V'11	W'9	W''9	W'''9	X111	X'111	X''111	Y111	Z23	G11
45	C22	D42	H11	K3	K'122	L13	L'13	M2	T21	U3	U'43	V21	V'212	W'4	W''4	W'''4	X2	X'12	X''21	Y111	Z211	G11
46	C11	D42	H13	K2	K'121	L7	L'5	M5	T12	U3	U'2	V25	V'22	W'5	W''5	W'''5	X2	X'12	X''21	Y112	Z0	G11
47	C122	D42	H13	K3	K'121	L14	L'5	M2	T3	U11	U'5	V21	V'22	W'9	W''9	W'''9	X3	X'3	X''3	Y111	Z213	G11
48	C22	D42	H3	K3	K'122	L5	L'5	M4	T13	U21	U'41	V25	V'212	W'4	W''4	W'''4	X112	X'21	X''22	Y113	Z0	G11
49	C11	D5	H22	K2	K'3	L7	L'5	M5	T12	U11	U'5	V23	V'211	W'9	W''9	W'''9	X2	X'21	X''22	Y112	Z0	G13
50	C11	D42	H3	K3	K'11	L5	L'5	M5	T21	U12	U'41	V1	V'11	W'4	W''33	W'''3	X111	X'11	X''22	Y112	Z0	G13
51	C122	D32	H12	K3	K'11	L5	L'5	M2	T21	U12	U'41	V24	V'11	W'7	W''3	W'''3	X2	X'11	X''22	Y121	Z212	G11
52	C22	D42	H5	K3	K'3	L12	L'5	M1	T12	U11	U'42	V1	V'3	W'9	W''5	W'''3	X111	X'11	X''22	Y111	Z213	G11
53	C3	D42	H5	K2	K'121	L3	L'3	M2	T21	U11	U'3	V26	V'212	W'3	W''3	W'''3	X12	X'12	X''22	Y113	Z213	G21
54	C11	D32	H22	K4	K'11	L6	L'5	M5	T12	U12	U'2	V1	V'12	W'9	W''5	W'''3	X12	X'12	X''22	Y111	Z22	G11
55	C3	D32	H21	K1	K'11	L3	L'5	M4	T21	U22	U'5	V25	V'212	W'1	W''2	W'''2	X13	X'12	X''22	Y113	Z211	G22
56	C11	D42	H13	K3	K'121	L14	L'5	M4	T21	U11	U'2	V1	V'212	W'2	W''3	W'''3	X2	X'21	X''22	Y112	Z212	G11
57	C11	D33	H21	K3	K'3	L12	L'5	M4	T13	U3	U'2	V26	V'212	W'5	W''3	W'''3	X3	X'11	X''21	Y111	Z211	G23
58	C122	D32	H22	K1	K'121	L2	L'5	M1	T21	U12	U'43	V23	V'22	W'7	W''3	W'''3	X2	X'11	X''21	Y111	Z0	G11
59	C11	D33	H3	K4	K'3	L7	L'5	M3	T21	U21	U'41	V1	V'212	W'5	W''3	W'''3	X13	X'12	X''21	Y121	Z212	G11
60	C11	D32	H5	K3	K'11	L7	L'5	M5	T21	U12	U'3	V1	V'212	W'4	W''3	W'''3	X112	X'12	X''22	Y122	Z0	G11
61	C11	D32	H13	K3	K'121	L7	L'5	M4	T3	U12	U'43	V23	V'212	W'4	W''5	W'''3	X3	X'12	X''22	Y122	Z0	G11
62	C4	D31	H4	K4	K'3	L4	L'5	M5	T21	U12	U'43	V21	V'214	W'6	W''3	W'''3	X111	X'12	X''22	Y113	Z0	G11
63	C4	D32	H21	K4	K'3	L5	L'5	M1	T3	U12	U'3	V22	V'211	W'9	W''5	W'''3	X3	X'12	X''22	Y111	Z211	G11
64	C4	D32	H5	K3	K'3	L7	L'5	M5	T12	U3	U'5	V4	V'3	W'9	W''5	W'''3	X3	X'12	X''22	Y111	Z0	G11
65	C22	D32	H21	K3	K'11	L7	L'5	M3	T12	U12	U'43	V24	V'211	W'9	W''5	W'''3	X2	X'11	X''11	Y122	Z0	G11
66	C21	D31	H5	K3	K'2	L12	L'5	M5	T3	U21	U'2	V3	V'22	W'1	W''3	W'''3	X2	X'3	X''12	Y3	Z211	G11
67	C11	D41	H21	K3	K'3	L7	L'5	M4	T3	U11	U'41	V24	V'3	W'2	W''3	W'''3	X3	X'12	X''12	Y3	Z0	G11
68	C11	D41	H22	K4	K'3	L3	L'5	M5	T3	U11	U'41	V24	V'3	W'5	W''31	W'''3	X3	X'12	X''12	Y3	Z0	G11
69	C11	D41	H21	K3	K'3	L2	L'5	M5	T3	U11	U'42	V23	V'22	W'7	W''3	W'''3	X2	X'11	X''21	Y124	Z0	G11
70	C22	D41	H4	K3	K'3	L12	L'4	M5	T12	U12	U'43	V22	V'22	W'9	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y124	Z0	G11
71	C11	D5	H5	K4	K'3	L7	L'5	M5	T11	U3	U'5	V23	V'22	W'9	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y124	Z0	G11
72	C3	D5	H4	K3	K'3	L4	L'5	M3	T12	U11	U'2	V27	V'3	W'9	W''5	W'''3	X3	X'12	X''21	Y121	Z0	G11
73	C3	D5	H13	K3	K'3	L11	L'5	M2	T22	U12	U'41	V21	V'212	W'4	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y113	Z0	G23
74	C4	D5	H5	K3	K'3	L3	L'5	M3	T21	U21	U'41	V1	V'214	W'6	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y3	Z0	G11
75	C123	D5	H22	K3	K'3	L6	L'5	M1	T13	U12	U'43	V21	V'11	W'4	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y124	Z22	G3
76	C23	D33	H5	K3	K'3	L4	L'5	M2	T21	U3	U'5	V27	V'211	W'9	W''5	W'''3	X3	X'12	X''21	Y3	Z211	G23
77	C11	D41	H11	K1	K'122	L8	L'5	M2	T12	U11	U'3	V22	V'212	W'3	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y3	Z211	G13
78	C11	D41	H13	K4	K'122	L2	L'5	M1	T3	U3	U'5	V1	V'3	W'9	W''5	W'''3	X112	X'12	X''21	Y111	Z211	G11
79	C121	D32	H22	K4	K'11	L5	L'5	M0	T21	U12	U'3	V1	V'3	W'2	W''3	W'''3	X2	X'11	X''12	Y111	Z0	G11
80	C122	D41	H5	K3	K'3	L5	L'5	M2	T22	U11	U'42	V23	V'212	W'4	W''3	W'''3	X3	X'12	X''21	Y123	Z212	G13
81	C22	D42	H5	K3	K'122	L7	L'5	M1	T3	U3	U'3	V25	V'212	W'9	W''4	W'''3	X3	X'12	X''21	Y3	Z0	G23
82	C4	D5	H22	K4	K'3	L12	L'5	M5	T3	U3	U'3	V27	V'212	W'5	W''31	W'''3	X2	X'11	X''3	Y124	Z211	G11
83	C22	D32	H21	K4	K'3	L4	L'5	M2	T21	U11	U'41	V27	V'3	W'2	W''3	W'''3	X112	X'12	X''21	Y121	Z211	G11
84	C4	D42	H3	K3	K'122	L16	L'5	M5	T3	U11	U'5	V26	V'212	W'5	W''3	W'''3	X2	X'11	X''3	Y112	Z0	G11

Stud	Ci	Di	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	Ui	U'i	Vi	V'i	W'i	W''i	W'''i	Xi	X'i	X''i	Yi	Zi	Gi
85	C22	D42	H13	K3	K'3	L12	L'5	M4	T3	U3	U'2	V26	V'214	W'5	W'2...	W'''3	X3	X'3	X''3	Y111	Z1	G11
86	C22	D42	H5	K3	K'3	L7	L'5	M5	T3	U3	U'2	V4	V'3	W'9	W'5	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
87	C22	D5	H21	K2	K'3	L2	L'5	M2	T21	U11	U'2	V1	V'11	W'5	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''22	Y124	Z211	G11
88	C3	D42	H22	K2	K'121	L7	L'5	M5	T3	U11	U'43	V24	V'211	W'4	W'1	W'''3	X2	X'11	X''22	Y111	Z0	G11
89	C23	D42	H22	K3	K'3	L11	L'5	M5	T21	U12	U'43	V24	V'211	W'4	W'2...	W'''...	X2	X'12	X''3	Y111	Z0	G21
90	C22	D32	H13	K3	K'3	L8	L'5	M1	T3	U11	U'5	V4	V'3	W'3	W'2...	W'''...	X3	X'3	X''3	Y3	Z211	G11
91	C11	D5	H13	K3	K'3	L7	L'5	M2	T22	U3	U'5	V25	V'212	W'3	W'5	W'''...	X2	X'21	X''21	Y124	Z211	G11
92	C21	D5	H13	K3	K'3	L4	L'5	M2	T3	U21	U'2	V24	V'211	W'2	W'2...	W'''3	X2	X'11	X''3	Y121	Z0	G13
93	C22	D41	H5	K3	K'2	L4	L'5	M4	T3	U21	U'5	V1	V'214	W'3	W'2...	W'''3	X13	X'3	X''3	Y111	Z0	G11
94	C4	D32	H5	K4	K'11	L7	L'5	M2	T21	U11	U'3	V24	V'22	W'9	W'5	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G21
95	C22	D32	H13	K3	K'11	L11	L'4	M5	T21	U11	U'41	V25	V'212	W'4	W'2...	W'''3	X3	X'3	X''3	Y111	Z211	G11
96	C22	D42	H13	K1	K'11	L7	L'5	M2	T21	U12	U'3	V24	V'12	W'4	W'2...	W'''3	X2	X'21	X''22	Y111	Z211	G11
97	C11	D5	H21	K2	K'3	L11	L'5	M5	T13	U21	U'5	V3	V'22	W'9	W'2...	W'''3	X2	X'12	X''11	Y123	Z0	G11
98	C122	D32	H12	K3	K'11	L5	L'5	M2	T12	U12	U'43	V21	V'211	W'3	W'2...	W'''...	X111	X'3	X''3	Y122	Z0	G11
99	C4	D32	H5	K4	K'3	L12	L'5	M2	T12	U12	U'5	V24	V'3	W'9	W'5	W'''3	X2	X'11	X''21	Y111	Z0	G11
100	C4	D5	H13	K4	K'3	L5	L'5	M5	T21	U11	U'2	V23	V'3	W'9	W'1	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
101	C4	D32	H21	K3	K'3	L8	L'5	M3	T13	U3	U'2	V3	V'22	W'1	W'2...	W'''3	X2	X'11	X''3	Y124	Z0	G11
102	C4	D41	H22	K3	K'3	L7	L'5	M4	T13	U12	U'41	V1	V'22	W'7	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''11	Y121	Z0	G11
103	C122	D41	H22	K3	K'2	L11	L'1	M1	T12	U12	U'43	V23	V'212	W'8	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''11	Y124	Z211	G11
104	C123	D32	H13	K1	K'11	L7	L'5	M1	T21	U12	U'43	V25	V'212	W'9	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''22	Y121	Z212	G11
105	C11	D5	H21	K3	K'3	L7	L'5	M1	T3	U12	U'43	V1	V'3	W'5	W'31	W'''...	X112	X'3	X''3	Y123	Z0	G11
106	C4	D41	H22	K3	K'3	L12	L'5	M2	T3	U3	U'43	V1	V'212	W'1	W'2...	W'''3	X3	X'3	X''3	Y123	Z211	G11
107	C22	D41	H4	K3	K'3	L7	L'5	M5	T3	U3	U'5	V21	V'214	W'4	W'1	W'''3	X111	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
108	C22	D41	H21	K3	K'2	L7	L'4	M3	T21	U3	U'2	V21	V'3	W'9	W'5	W'''3	X111	X'3	X''3	Y122	Z211	G11
109	C11	D5	H22	K3	K'3	L4	L'5	M5	T22	U3	U'5	V26	V'211	W'9	W'5	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
110	C11	D5	H22	K3	K'3	L4	L'5	M5	T3	U11	U'5	V24	V'211	W'9	W'1	W'''3	X3	X'3	X''3	Y112	Z0	G11
111	C122	D31	H13	K3	K'11	L2	L'5	M3	T21	U11	U'41	V25	V'212	W'5	W'2...	W'''3	X111	X'3	X''3	Y111	Z213	G11
112	C11	D5	H22	K2	K'3	L11	L'5	M2	T22	U3	U'41	V23	V'212	W'5	W'30	W'''...	X2	X'22	X''21	Y111	Z0	G11
113	C11	D31	H5	K4	K'3	L4	L'5	M1	T21	U12	U'42	V22	V'214	W'2	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''22	Y111	Z0	G11
114	C4	D5	H22	K4	K'3	L12	L'5	M2	T21	U3	U'3	V21	V'3	W'3	W'2...	W'''3	X112	X'3	X''3	Y3	Z0	G22
115	C4	D5	H22	K3	K'3	L7	L'5	M1	T12	U3	U'5	V21	V'3	W'9	W'5	W'''3	X2	X'3	X''22	Y111	Z0	G3
116	C11	D5	H5	K2	K'3	L12	L'5	M1	T12	U21	U'41	V21	V'214	W'6	W'2...	W'''3	X111	X'3	X''3	Y111	Z23	G23
117	C22	D5	H14	K2	K'3	L2	L'2	M2	T21	U12	U'43	V25	V'211	W'5	W'2...	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z211	G11
118	C121	D5	H3	K3	K'121	L5	L'5	M1	T12	U11	U'3	V25	V'22	W'3	W'2...	W'''...	X2	X'22	X''22	Y113	Z0	G11
119	C3	D32	H13	K3	K'3	L16	L'5	M1	T21	U3	U'41	V21	V'214	W'5	W'2...	W'''...	X12	X'3	X''3	Y123	Z0	G11
120	C4	D32	H4	K4	K'3	L11	L'5	M1	T21	U11	U'5	V22	V'22	W'6	W'1	W'''3	X111	X'3	X''3	Y123	Z213	G23
121	C123	D5	H5	K4	K'3	L7	L'5	M5	T3	U3	U'5	V26	V'3	W'9	W'5	W'''3	X111	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
122	C3	D41	H14	K4	K'3	L12	L'5	M5	T12	U3	U'3	V27	V'3	W'8	W'30	W'''...	X3	X'3	X''3	Y122	Z1	G22
123	C122	D31	H14	K3	K'122	L12	L'5	M5	T21	U11	U'41	V25	V'212	W'2	W'2...	W'''...	X2	X'21	X''3	Y3	Z0	G11
124	C11	D32	H22	K4	K'3	L12	L'5	M2	T22	U21	U'5	V26	V'22	W'1	W'2...	W'''3	X3	X'3	X''3	Y3	Z0	G11
125	C11	D32	H14	K2	K'3	L11	L'5	M2	T21	U11	U'2	V24	V'3	W'3	W'1	W'''3	X111	X'3	X''3	Y111	Z0	G11
126	C3	D42	H5	K4	K'3	L5	L'5	M1	T13	U3	U'5	V24	V'211	W'2	W'2...	W'''3	X2	X'21	X''3	Y3	Z0	G23

Sud	Ci	Di	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	Ui	U'i	Vi	V'i	W'i	W''i	W'''i	Xi	X'i	X''i	Yi	Zi	Gi
127	C22	D32	H21	K1	K'11	L12	L'5	M2	T22	U11	U'43	V22	V'211	W'7	W'2...	W'''...	X111					
128	C4	D5	H5	K3	K'3	L7	L'5	M5	T3	U3	U'5	V21	V'22	W'9	W'2...	W'''3	X3			• Y121	Z211	G11
129	C11	D32	H5	K3	K'11	L3	L'5	M2	T12	U11	U'43	V1	V'22	W'2	W'1	W'''...	X2	X'21	•	Y113	Z212	G13
130	C11	D32	H5	K2	K'3	L11	L'5	M2	T12	U22	U'41	V25	V'212	W'2	W'2...	W'''3	X3			• Y123	Z0	G11
131	C22	D43	H5	K3	K'3	L4	L'5	M1	T12	U3	U'41	V21	V'214	W'5	W'5	W'''3	X13			• Y124	Z0	G23
132	C22	D42	H21	K3	K'122	L8	L'1	M1	T12	U22	U'3	V1	V'11	W'1	W'4	W''2	X2	X'12	X''22	Y111	Z1	G11
133	C122	D32	H5	K3	K'3	L7	L'5	M2	T3	U3	U'3	V25	V'22	W'5	W'5	W'''3	X3			• Y113	Z0	G23
134	C4	D32	H13	K3	K'11	L11	L'5	M1	T21	U22	U'41	V25	V'211	W'5	W'2...	W'''...	X2	X'11	X''11	Y121	Z211	G11
135	C22	D42	H3	K3	K'3	L3	L'5	M3	T3	U11	U'5	V25	V'212	W'7	W'2...	W''2	X12			• Y124	Z0	G11
136	C4	D42	H5	K4	K'3	L4	L'5	M5	T3	U11	U'5	V4	V'3	W'9	W'5	W'''3	X111			• Y3	Z0	G11
137	C22	D32	H13	K3	K'11	L7	L'5	M5	T3	U3	U'5	V26	V'3	W'3	W'2...	W'''3	X2	X'12	X''11	Y3	Z0	G13
138	C22	D5	H4	K2	K'3	L3	L'5	M1	T21	U3	U'41	V1	V'12	W'5	W'2...	W'''...	X12			• Y123	Z23	G11
139	C22	D5	H13	K4	K'3	L4	L'5	M2	T12	U11	U'42	V25	V'212	W'5	W'2...	W'''...	X2	X'21	X''12	Y111	Z1	G11
140	C11	D41	H13	K2	K'3	L4	L'5	M3	T12	U11	U'41	V21	V'3	W'1	W'1	W'''...	X2	X'11	X''21	Y113	Z0	G21
141	C11	D5	H21	K4	K'3	L7	L'5	M1	T3	U3	U'3	V4	V'3	W'9	W'1	W'''3	X3			• Y3	Z23	G13

PUNTUACIONES DE MENOR A MAYOR, OBTENIDAS POR
 LOS ALUMNOS DE 1ª UNIVERSIDAD EN LAS CUESTIONES
 RELATIVAS A LA 2ª LEY

Nº al...	Ci	Di	Fi 1ª	Fi 2ª	Gi	Hi	Ki	Ki	Ki	Li	Li	Mi	Ti	U'i	V'i	W'i	W''i	W'''i	Xi	Yi	Zi	Ei	Ei	Puntu...
1	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
2	128	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
3	115	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
4	110	1	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
5	72	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
6	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	5
7	86	0	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
8	76	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
9	38	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	6
10	133	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6
11	63	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
12	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	6
13	49	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	6
14	64	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
15	141	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6
16	100	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
17	107	0	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7
18	93	0	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
19	114	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7
20	94	0	1	1	2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
21	131	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	7
22	88	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7
23	43	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
24	137	0	1	1	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	7
25	66	0	1	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
26	126	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
27	136	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7
28	57	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	7
29	16	0	1	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7
30	41	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	7
31	28	0	1	2	2	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
32	81	0	1	2	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
33	80	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
34	14	0	1	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8
35	5	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	8
36	140	1	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8
37	83	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	8
38	2	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	8
39	10	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
40	101	0	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	8
41	121	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	8
42	71	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	0	8

Nº al...	Ci	Di	Fi 1º	Fi 2º	Gi	Hi	Ki	Ki	Li	Li	Mi	Ti	Ui	Vi	Wi	W'i	W''i	Xi	Yi	Zi	Ei	Ei	Puntu...
43	53	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	8
44	97	1	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	8
45	15	0	1	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	9
46	18	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	9
47	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	9
48	46	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	9
49	37	2	0	1	1	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9
50	70	0	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9
51	89	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	9
52	90	0	1	1	1	2	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
53	1	0	0	2	0	0	2	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	9
54	68	1	1	0	1	2	0	0	2	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	10
55	47	2	1	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	10
56	124	1	1	1	2	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10
57	77	1	1	1	1	0	2	2	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
58	34	0	1	0	1	2	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	10
59	67	1	1	1	2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	10
60	130	1	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	10
61	61	1	1	1	0	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10
62	54	1	1	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	10
63	99	0	1	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	10
64	85	0	1	1	0	2	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	10
65	74	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	2	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0	10
66	52	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	1	0	0	10
67	33	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	2	0	0	11
68	112	1	0	0	2	0	0	0	1	0	0	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	11
69	55	0	1	0	1	0	2	1	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	11
70	13	0	1	1	0	2	0	1	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	11
71	118	2	0	2	2	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
72	132	0	1	1	2	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11
73	62	0	1	1	1	2	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	2	0	0	0	0	11
74	113	1	1	1	1	2	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	11
75	59	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	11
76	108	0	1	1	2	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	11
77	135	0	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	11
78	17	2	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	0	11
79	45	0	1	1	0	2	2	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	0	0	0	11
80	116	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	12
81	7	1	1	0	2	2	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	2	0	1	0	12
82	92	0	0	1	1	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
83	91	1	0	1	1	2	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	2	0	2	2	12
84	30	0	1	2	1	2	2	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	12

Nº al...	Ci	Di	Fi1º	Fi2º	Gi	Hi	Ki	K'i	Li	L'i	Mi	Ti	U'i	V'i	W'i	W''i	Xi	Yi	Zi	Ei	Ei	Puntu...
85	109	1	0	1	1	2	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	12
86	120	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	1	0	2	1	1	0	12
87	117	0	0	1	1	2	2	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	12
88	24	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	2	0	1	2	0	0	12
89	106	0	1	1	0	2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	2	12
90	96	0	0	2	1	2	2	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
91	40	0	0	1	2	2	2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	12
92	56	1	1	1	1	2	2	1	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	13
93	129	1	1	1	1	2	0	1	2	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	13
94	95	0	1	2	1	2	2	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	13
95	29	0	1	1	0	2	2	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	2	0	0	0	13
96	35	0	1	2	2	2	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	13
97	9	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	2	0	13
98	27	1	1	1	0	2	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	2	13
99	23	0	0	1	1	2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0	13
100	48	0	1	1	2	2	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	1	2	0	13
101	12	0	1	1	1	2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2	13
102	32	2	1	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	13
103	138	0	0	0	1	2	0	0	2	0	1	2	1	0	0	1	2	0	1	0	0	14
104	69	1	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	1	0	1	2	0	1	1	0	0	14
105	6	0	1	2	2	2	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	14
106	8	1	1	1	1	2	0	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
107	82	0	0	1	2	2	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	0	0	14
108	21	1	0	1	0	2	0	1	2	0	0	0	1	0	1	1	2	0	0	2	0	14
109	36	2	1	1	1	2	0	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	14
110	78	1	1	1	1	2	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	2	14
111	65	0	1	1	1	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	0	14
112	87	0	0	1	2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	1	1	0	2	14
113	84	0	1	1	1	2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	2	2	14
114	102	0	1	1	1	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	2	0	0	0	14
115	25	2	1	1	1	2	2	1	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	14
116	44	1	1	1	1	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	15
117	73	0	0	1	2	2	1	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	0	0	2	0	15
118	79	2	1	1	1	2	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	2	15
119	39	1	1	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	1	2	15
120	139	0	0	2	1	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	0	1	2	15
121	122	0	1	1	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	2	2	2	0	2	1	0	16
122	119	0	1	1	1	2	2	1	0	1	0	1	2	1	0	1	0	0	1	0	1	16
123	50	1	1	1	2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	2	0	0	2	0	1	2	16
124	105	1	0	1	1	2	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	2	2	16
125	127	0	1	0	0	2	0	2	1	1	0	2	1	0	0	2	0	2	0	0	0	16
126	75	2	0	1	2	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	2	1	0	2	2	17

Nº al...	Ci	Di	Fi 1ª	Fi 2ª	Gi	Hi	K'i	Li	Li	Mi	Ti	Ui	Vi	Wi	W'i	W''i	Xi	Yi	Zi	Ei	E'i	Puntu...	
127	11	0	1	1	1	2	2	2	1	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	2	0	17	
128	125	1	1	1	1	2	2	2	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	17	
129	22	1	1	1	2	2	2	2	0	1	2	0	2	0	0	0	1	2	0	0	0	18	
130	123	2	1	1	2	2	2	2	1	0	2	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0	18	
131	26	1	1	1	1	2	0	2	2	0	0	1	0	2	1	2	1	2	0	0	0	19	
132	31	1	1	1	0	2	2	2	1	0	0	1	1	0	2	2	1	2	0	0	0	19	
133	60	1	1	1	1	2	0	1	1	0	2	1	1	0	0	0	1	2	0	2	2	19	
134	42	0	1	1	2	2	0	2	2	1	0	1	1	0	0	0	2	0	1	2	0	19	
135	58	2	1	0	0	2	0	2	0	1	1	1	0	0	2	2	1	0	0	2	2	20	
136	51	2	1	1	1	2	2	1	1	0	1	1	0	1	2	2	1	2	0	0	0	21	
137	134	0	1	1	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	1	2	2	2	0	0	0	21	
138	104	2	1	1	1	2	2	2	2	0	1	2	1	1	0	0	1	2	0	0	0	21	
139	98	2	1	1	2	2	2	1	1	0	0	1	0	0	0	2	2	2	0	1	2	22	
140	111	2	1	1	1	2	2	1	2	1	0	1	1	0	1	0	2	0	1	2	0	22	
141	103	2	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	0	0	0	23	
142	•	82	106	129	117	202	78	100	37	80	9	32	81	83	46	21	55	34	86	68	28	76	1586

Anexo a capítulo 7

7.8.1

Tablas de contingencia entre respuestas dadas sobre la irreversibilidad en la cuestión 7-Q-3B (piedra caída) y respuestas sobre irreversibilidad en cuestión 9-Q-3B:

Veamos primero las categorías establecidas:

Categoría	En el caso de la piedra caída	En el caso del reloj de cuerda
1	4 estudiantes	5 estudiantes
2	4 "	4 "
3	8 "	4 "
4	1 "	9 "
5	19 "	15 "
6	4 "	3 "

Para la piedra caída
Observed Frequency Table

	1	2	3	4	5	6	Totals:
1	1	1	0	0	3	0	5
2	0	2	0	0	1	1	4
3	1	0	0	0	3	0	4
4	1	0	3	1	4	0	9
5	0	1	5	0	6	3	15
6	1	0	0	0	2	0	3
Totals:	4	4	8	1	19	4	40

Reloj

Summary Statistics

DF:	25
Total Chi-Square:	28.5 p=.2834
G Statistic:	.
Contingency Coefficient:	.6
Cramer's V:	.4

Muy pocos alumnos repiten categoría en ambas cuestiones, con lo que el valor de χ^2 es muy pequeño para el número de grados de libertad con que se cuenta.

Podemos agrupar las categorías y considerar niveles de razonamiento:
Agrupamos del siguiente modo:

Categorías 1, 2, 3 y 4: Nivel I: 2^a Ley en alguna versión

Categoría 5: Nivel II: Argumentos acerca del consumo de energía

Categoría 6: Nivel III: Razonamientos sobre fuerzas

Para el reloj sin cuerda:

Categorías 1, 2, 3, 4. : Nivel I': 2^a Ley en alguna versión

Categoría 5: Nivel II': Argumentos acerca del consumo de energía

Categoría 6: Nivel III': Razonamientos sobre fuerzas

La tabla de contingencia que observamos es:

Observed Frequency Table

	I	II	III	Totals:
I'	10	11	1	22
II'	6	6	3	15
III'	1	2	0	3
Totals:	17	19	4	40

Coded Chi-Square X₂: Piedra: categorías agrupadas Y₂: Reloj: catego...

Summary Statistics

DF:	4	
Total Chi-Square:	3.02	p=.5545
G Statistic:	.	
Contingency Coefficient:	.265	
Cramer's V:	.194	

El valor de χ^2 es también insuficiente para que podamos establecer una relación entre las categorías en ordenadas y las categorías en abscisas.

Podemos aún agrupar más las categorías tomando conjuntamente el nivel II (o II') con el nivel III (o III') ya que son los dos tipos de razonamiento menos elaborados.

Así, la tabla de contingencia queda:

Observed Frequency Table

	I	II+III	Totals:
I'	10	12	22
II'+III'	7	11	18
Totals:	17	23	40

**Coded Chi-Square X₃: Piedra: categorías más agrupadas Y₃: Reloj: Ca...
Summary Statistics**

DF:	1	
Total Chi-Square:	.175	p=.676
G Statistic:	.175	
Contingency Coefficient:	.066	
Phi:	.066	
Chi-Square with continuity correction:	.009	p=.9232

De nuevo, no observamos correlación alguna. Los estudiantes razonan con niveles de complejidad en una u otra pregunta

7.8.2 Sobre niveles de conocimiento y niveles de razonamiento.

Podemos comprobar si tal clasificación en puntuación alta, media o baja (A, B, C) correlaciona con los estudiantes que tenían asignado un nivel de razonamiento I,II o III (o bien I', II', III') en las anteriores cuestiones sobre irreversibilidad (piedra caída y reloj de cuerda respectivamente).

Así, elaboramos de nuevo unas tablas de contingencia.

Para la piedra caída:

Observed Frequency Table

	A	B	C	Totals:
I	7	6	4	17
II	6	8	5	19
III	0	0	4	4
Totals:	13	14	13	40

Expected Values

	A	B	C	Totals:
I	5.53	5.95	5.53	17
II	6.18	6.65	6.18	19
III	1.3	1.4	1.3	4
Totals:	13	14	13	40

Coded Chi-Square X₁: Clasific. estud. Y₁: Piedra: categorías agrupadas

Summary Statistics

DF:	4	
Total Chi-Square:	9.6	p=.0472
G Statistic:	.	
Contingency Coefficient:	.4	
Cramer's V:	.3	

Para el reloj de cuerda:

Observed Frequency Table

	A	B	C	Totals:
I'	9	7	6	22
II'	4	6	5	15
III'	0	1	2	3
Totals:	13	14	13	40

Expected Values

	A	B	C	Totals:
I'	7.15	7.7	7.15	22
II'	4.88	5.25	4.88	15
III'	.98	1.05	.98	3
Totals:	13	14	13	40

Coded Chi-Square X₁: Clasific. estud. Y₁: Reloj: categorías agrupadas

Summary Statistics

DF:	4	
Total Chi-Square:	3	p=.5496
G Statistic:	.	
Contingency Coefficient:	.3	
Cramer's V:	.2	

Los valores de χ^2 son insuficientes y además, si comparamos las tablas de frecuencia observada con las tablas de valores estadísticamente esperados, observamos que las mayores diferencias corresponden al cruce de las categorías inferiores C y III. No podemos garantizar con algún aceptable grado de confianza que los estudiantes de los niveles A, B o C según su puntuación global sobre la 2ª Ley vayan a tener un nivel alto, medio o bajo en la explicación de las cuestiones que se refieren a la irreversibilidad en un contexto cotidiano.

BIBLIOGRAFIA.

AITKENHEAD, A. M. y SLACK, J. M. 1985, Issues in cognitive modelling. Lawrence Erlbaum Associates.

ALONSO, M., FINN, E. 1971, Física. Fundamentos cuánticos y estadísticos. vol. 3, Fondo educativo interamericano, s.a. Barcelona.

ALONSO, M , ROJO, O. 1980, Física. Vol I Mecánica, F.E.I.S.A. México.

ARNOLD, M 1987, Being constructive: An alternative approach to the teaching of introductory ideas in electricity. *Int. J. Sci. Educ.* vol 9, nº 5, 553-563.

ATKINS, P.W. 1984, The Second Law. Freeman and Company, Scientific American Books, N.Y.

AULT, C. R. , NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B. 1984, Constructing Vee Maps for clinical interviews on molecule concepts. *Sci. Educ.*, 68 (4), 441-462.

AULT, C. R. , NOVAK, J. D. y GOWIN, D. B. 1988, *Constructing Vee Maps for Clinical Interviews on Energy Concepts*. *Sci. Educ.*, 72,(4), 515-545.

BACHELARD, G. 1974 (1948 1ª ed.), La formación del espíritu científico. Siglo XXI, ed. Buenos Aires.

BLACK, P. J.1981, Thermodynamics - Can we teach the second law? *I Simposium Internacional de Didáctica General y Didácticas Especiales*. La Manga del Mar Menor, Murcia.

BLACK, P. J. y SOLOMON, J. 1983, Life world and science world. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 43-55.

BLACK, P y HARLEN, W.1991. How can we specify concepts for Primary Science? No publicado.

- BLACK, W y HARLEY, J. 1989, Termodinámica. Ed. Continental. México.
- BLISS, J. y OGBORN, J. 1979, The analysis of qualitative data. *Eur. J. Sci. Educ.*, 1 (4), 427-440.
- BLISS, J. 1983, Qualitative data analysis for educational research. Croom Helm. London.
- BLISS, J. 1983, Can children understand entropy?, In *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Vol 1. Budapest.
- BLISS, J. y OGBORN, J. 1985, Children's choices of uses of energy. *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 7, no. 2, 195-203.
- BLISS, J., MORRISON, I., OGBORN, J. 1988, A longitudinal study os dynamics concept. *International Journal of Science Education* 10, 1, 99-110.
- BLISS, J. 1989, A common-sense theory of motion: A theoretical and empirical approach. A: Adey, P. y otros. (eds.) 'Adolescent development and school science' The Falmer Press. London.
- BLOCK, J. R. 1984, Entropy, ecology and the concept of self-organization. *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 6, no. 1, 11-17.
- BOYES, E. 1990, Pupil's ideas concerning energy sources. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 12, no. 5, 513-529.
- BRIDGMAN, P.W. 1941, The nature of thermodynamics, Harper & Brothers, Harper Torchbooks, N.Y.
- BROOK, A. 1985, Children's understanding of ideas about energy: A review of the literature. University of Leeds. 33-45.
- BRUNER, J. 1984, Cultura y desarrollo cognitivo. A:Linaza, J.L. (ed) 'Acción, pensamiento y lenguaje'. Alianza Psicología. Madrid.

- BRUNER, J.S., GOODNOW, J., AUSTIN, G, (1956). A study of thinking., Wiley, New York
- BRUSH, S. G. 1976, Kinetic theory. The Nature. Gases and Heat.(vol 1) y Irreversible processes. (vol 2). Selected Readings in Physics. Pergamon Press.
- BRUSH, S. G. 1976, The kind of motion we call heat. A history of the kinetic theory of gases in the 19th century. Holland Publishing Company. NY, Oxford.
- BUCHDAL, H.A. 1976, Twenty lectures on Thermodynamics, Pergamon Press.
- CALLEN, H.B. 1960, Thermodynamics, John Wiley & Sons Inc, New York.
- CAMPBELL, D. y STANLEY, J. 1966, Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research. Chicago: Rand McNally.
- CARRIO, R., PINTO, R., SANMARTI, N. y TOMAS, C. , 1978, Una programació per aprendre Ciències. ICE Univ. Politècnica de Barcelona.
- CLAXTON, G. 1984, Vivir y aprender. Alianza Psicología. Madrid.
- CLAXTON, G. 1986, The alternative conceivers' conceptions. *Stud. in Sci. Educ.*, 13, 123-130.
- CLAXTON, G. 1988, Science Lessens? *Book Reviews.* 165-171.
- CLEMENT, J. 1988, Observed methods for generating analogies in scientific problem solving. *Cognitive science*, 12, 563-586.
- COSGROVE, M. y OSBORNE, R. 1981, Physical change. Working paper nº 26. LSP. University of Waikato. Hamilton. N.Z.
- DE HEER, J. 1986, Phenomenological Thermodynamics, Prentice Hall, Inc. , N.Y.
- DRIVER, R. 1979, When is a stage not a stage?. *Educ. Res.*, 21 (1), 54-61.

DRIVER, R. 1981, Alternative frameworks in Science. *Eur. J. Sci. Educ.*

DRIVER, R. y ERICKSON, G. 1983, Theories-in-action: Some theoretical and empirical issues in the study of student's conceptual frameworks in science. *Stud. Sci. Educ.*, 10, 37-60.

DRIVER, R. y WARRINGTON, L. 1985, Student's use of the principle of energy conservation in problem situations. *Phys. Educ.* 20, Northern Ireland. 171-176.

DRIVER, R. 1985, The pupil as scientist? Open Univ. Press. Milton Keynes.

DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. 1985, Children's ideas in Science. Open Univ. Press. Milton Keynes.

DRIVER, R. 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), 3-15.

DRIVER, R. 1988, Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), 109-120.

DUIT, R. y PFUNDT, H. Students' alternative frameworks and science education. Institute for Science Education at the University of Kiel.

DUIT, R. , Should energy be illustrated as something quasi-material? *Int. J. Sci. Educ.* vol. 9, no. 2, 139-145.

DUIT, R. 1981, Understanding Energy as a Conserved Quantity-Remarks on the Article by R. U. Sexl. *Eur. J. Sci. Educ.*, vol. 3, no. 3, 291-301.

DUIT, R. 1983, Energy conceptions held by students and consequences for science teaching. *Proceedings of the International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics"*. Ithaca. 316-321.

DUIT, R. 1983, Energy conceptions held by students and consequences for Science teaching. , Correll University. 316-322.

DUIT, R. 1983, Energy conceptions held by students and consequences for Science teaching. Correll University. 316-322.

DUIT, R. 1983. Is the second law of thermodynamics easier to understand than the first law? *Proceeding of the 6th. Danube Seminar on Physics Education*. Budapest. 87-97.

DUIT, R. 1984, Kraft, Arbeit, Leistung, Energie - Wörter der Alltagssprache und der physikalischen Fachsprache. *Physica didactica* , nº 11, 129-144.

DUIT, R. 1985, In Search of an Energy Concept. *Conference on Teaching about Energy within the Secondary School Science Curriculum*. Leeds. 1-46.

DUIT, R. 1986, Some methods for evaluating the meaning of concept names. Correll University. 141-148.

DUIT, R. y HAUSSLER, P. 1983, Some Ideas for dealing with Energy Degradation in Grades 5 to 10. *Proceeding of the 6th. Danube Seminar on Physics Education*. Budapest. 388-397.

DUIT, R. 1985, In search of an energy concept. Energy Matters, *Proceedings of an Invited Conference: Teaching about energy within the secondary science curriculum*. Leeds. 67-101.

DUIT, R. 1985, Work, force and power - words in everyday language and terms in mechanics. *The many faces of teaching and learning mechanics. Conference on physics education*. Utrecht: GIREP/ SVO/ UNESCO.

DUXBURY, J. 1983, Teaching about energy. The debate between Dr Warren and Mr Richmond. *Phys. Edu.* vol. 18, Northern Ireland. 204.

ELKANA, Y. 1974, The discovery of the Conservation of Energy. Hutchinson Educational.

ERICKSON, B. y NOSANCHUK, T. 1979, Understanding data. An introduction to exploratory and confirmatory data analysis for students in the social sciences. The Open University Press.

ERWINN, H. 1962, Historical roots of the principle of conservation of energy. Department of History. University of Wisconsin. Madison.

FEYNMANN, R. Lectures on Physics. Vol I, Mecánica, radiación y calor, F.E.I.S.A. México, 1971.

FEYNMANN, R. Lectures on Physics. Vol II, Electromagnetismo y materia, F.E.I.S.A. México, 1972.

FODOR, J. A. 1988, (1975 1ª ed. inglesa), El lenguaje del pensamiento. Alianza Ed. Madrid.

GENTNER, D. y STEVENS, D. R. 1983, 'Mental models'. LEA. New Jersey.

GIL, D. 1985, El futuro de la enseñanza de las ciencias: algunas implicaciones de la investigación educativa. *Revista de Educación*. 278, 27-38.

GILBERT, G. L. y WATTS, M. 1983, Concepts, misconceptions and alternative conceptions: Changing perspectives in science education. *Stud. Sci. Educ.*, 10, 61-98.

GILBERT, J. y OSBORNE, R. 1985, Identifying science students' concepts: the interview-about-instances approach. *Proceedings Conference on Teaching Energy*. Leeds.

GIMENO SACRISTAN, J. 1983, Planificación de la investigación educativa y su impacto en la realidad. En "La enseñanza: entre la teoría y la práctica". Ed. Akal. Madrid.

GUIDONI, P. 1985, On natural thinking. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7 (2), 133-140.

GUTIERREZ, R. 1987, El desarrollo mental. A: Marco y otros. 'La enseñanza de las ciencias experimentales'. Ed. Narcea. Madrid.

GUTIERREZ, R. 1987, Psicología y aprendizaje de las ciencias: el modelo de Ausubel. *Enseñanza de las ciencias*, 5 (2), 118-128.

HERRMANN, F. 1983, Entropy as an Energy Carrier. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 260-269.

- HEWSON, P. W. 1983, Effects of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on Science learning. *Eur. J. Sci. Educ.*
- HEWSON, P. W. y POSNER, G. 1984, The use of schema theory in the design of instructional materials: a physics example. *Instructional Science*, 18?, 119-139.
- HICKS, N. 1983, Energy is the capacity to do work-or is it? . *The Physics Teacher*. 529-530.
- INHELDER, B. y PIAGET, J. 1972, (1955 1ª ed. francesa) De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Ed. Paidós. Buenos Aires.
- IREY, R.K., ANSARIA, A., Pohl, J.H. 1981, Curso modular de Termodinámica, Linusa, México.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. 1983, Mental models. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. 1987, Mental models. A: Aitkenhead, A. M. y Slack, J. M. eds. 'Issues in cognitive modeling'. Open Univ. LEA. London.
- JOHNSTONE, A. H. , MACDONALD, J. J. y WEBB, G. 1977, Misconceptions in school thermodynamics. *Phys. Educ.* 248-251.
- KEIL, F. C. 1981, Constraints on knowledge and cognitive development. *Psychological Review*, 88 (3), 197-227.
- KELLY, G. 1955, A theory of personality: "The psychology of Personal Constructs" W. Norton.
- KEMP, H. R. 1984, The concept of energy without heat or work. *Phys. Educ.* vol. 19, Northern Ireland. 234-240.
- KESTING, J. 1976, The second law of thermodynamics. Benchmark papers on energy. Vol.5. Dowden, Hutchinson and Ros, Inc.

KESTING, J. 1979, A course of Thermodynamics Vol I, Hemisphere Publishing Corporation, Mc Graw-Hill Booh Co.

KOENIG, S. History of Science and Second Law of Thermodynamics.

LEBOUTET, L. y BARRELL, L. 1976, Concepts on mechanics among young people. *Physics Education*, 11, 462-465.

LEHRMAN, R.L. 1973, Energy is not the ability to do work, *The Physics Teacher* 11, 15-18

LIJNSE, P. 1983, Energy and Quality. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 404-418.

LINDSAY, B. 1975, Energy. Historical Development of the concept. Benchmark papers on energy. Vol. 1. Dowden. Hutchnison and Ros, Inc.

LOFFER, G. 1985, Sources of misconceptions. *Conference on Physics Education*. Utrecht.

MACH, E. 1911, History and root of the principle of the conservation of energy. The Open Court Publishing Co. London.

MALONEY, D. P. 1985, Rule-Governed Approaches to Physics: Conservation of Mechanical Energy. *Journal of Resarch in Science Teaching*. vol. 22, no. 3. 261-278.

MARION, J y HORNYAK, W. 1982, Physics For Science and Engineering. Holt-Saunders International Editions.

McDERMOTT, D. 1982, An AI view of structural learning theory. *J. Struc. Learn*, 7, 175-181.

McDERMOTT, D. 1983, Critical review of research in the domain of mechanics. *Proceeding Research on Physics Education*. La Londe les Maures.

McGUIRE, P.R.P. y otros. 1987, Techniques for investigating the undestanding of concepts in science. *Int. J. Sci. Educ.* vol 9, 5, 565-577.

MILLER, S, 1984, Experimental design and statistics. New essential Psychology. Methuen, Inc. New York.

MINSKY, M. 1981, A framework for representing knowledge. A: Hangeland, J. (ed) 'Mind design'. The M.I.T. Press. Cambridge. 93-128.

NOVACK, J. D. 1988, Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (3), 213-223.

NOVACK, J. D. 1977, An alternative to piagetian psychology for science and mathematics education. *Sci. Educ.*, 61 (4), 453-477.

OGBORN, J. 1976, The second law of thermodynamics: a teaching problem and an opportunity. *School Science Review*. 57. 654-672.

OGBORN, J. 1983. Approaches to teaching thermodynamics. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 476-479.

OGBORN, J. 1985, Energy and Fuel: the meaning of 'the go of things'. *School Science Review*. 1-7.

OGBORN, J. y otros. 1985, The generative learning model and its implications for science education. *Sci. Educ.* n° 12.

OGBORN, J., 1990, Energy, change, difference and danger. *School Science Review*. 72. 81-85.

OSBORNE, R. y WITTRICK, M. 1983, Learning Science: A generative process. *Sci. Educ.*, 67 (4), 489-508.

OSBORNE, R. y WITTRICK, M. 1985, The generative learning model and its implications for science education. *Stud. Sci. Educ.*, 12, 59-87.

OSBORNE, R. y FRYBERG, P. 1985, Learning in Science - The implications of children's science. Heinmann.

OTERO, J. y BRINCONES, I. 1987, El aprendizaje significativo de la segunda ley de la termodinámica. *Infancia y Aprendizaje*. 89-107.

PFLUG, A. 1983, Real systems on the oneway road towards disorder. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 323-341.

POSNER, G. S., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W. y GERTZOG, W. A. 1982, Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Sci. Educ.*, 66 (2), 221-228.

POZO, J. I. y CARRETERO, M. 1987, Del pensamiento formal a las concepciones espontaneas: Qué cambia en la enseñanza de las ciencias?. *Infancia y aprendizaje*, 38, 35-52.

POZO, J. I. 1987, Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal. Aprendizaje/Visor. Madrid.

REDONDI, P. 1980, L'accueil des idees de Sadi Carnot. Librairie philosophique J. Vrin. Paris.

REGENTS OF THE UNIVERSITY OF CALIFORNIA. 1971, Science Curriculum Improvement Study (SCIS). Ed. Mc. Nally. Berkeley.

ROGERS, E. 1960, Physics for the inquiring mind. Oxford University Press. London.

ROLLER, D. 1950, The early development of the concepts of temperature and heat. The rise and decline of the caloric theory. Harward Univ. Press-Cambridge.

ROZIER, S. 1988, Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire. Thèse. Université Paris VII.

ROZIER, S. y VIENNOT, L., 1991, Students' reasonings in thermodynamics. *Int. J. Sci. Educ.*, vol 13, nº 2. 159-170.

SADI CARNOT et l'essor de la Thermodynamique. 1976, Table Ronde du CNRS, Editions du CNRS. Paris.

SALTIEL, E. y VIENNOT, L. 1985, ¿Qué aprendemos de las semejanzas entre las ideas históricas y el razonamiento espontáneo de los estudiantes?. *Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 137-144.

SANMARTI, N. 1989, Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost. Tesis doctoral. Bellaterra.

SCARRETTA, M. , STILLI, R. y MISSONI, M. 1990, On the thermal properties of materials: common-sense knowledge of Italian students and teachers. *Int. J. Sci. Educ.*, vol 12, nº 4, 369-379.

SCHADNI, Y. A. 1985, A mechanics course based on the pre-knowledge of some fundamental concepts in Physics. *Conference on Physics Education*. Utrecht.

SCHAEFER, G. 1983, The concept triangle energy-information-order in the heads of our students. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 56-85.

SCHANK, R. C. y ABELSON, R. P. 1987 (1977 1ª ed.) Guiones, planes, metas y entendimiento. Ed. Paidós. Barcelona.

SCHLICHTING, H. J. 1978, Energy and Energy Waste: a Topic for Science Education. Innovation and Developments. *Eur. J. Sci. Educ.* 157-168.

SCHLICHTING, H. J. y BACKHAUS, U. 1983, From energy devaluation to energy. , *Proceedings of the International Conference: Entropy in the school*. Budapest. 228-243.

SCHOOLS COUNCIL. 1974, Science 5 to 13. McDonal Education. London.

SEBASTIA, J. Ma. 1987, ¿Es realmente posible el cambio conceptual?. *II Congreson Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias y las Matemáticas*. Valencia.

SEBASTIA, J. Ma. 1989, El constructivismo: un marco teórico problemático. *Enseñanza de las Ciencias*, 7 (2), 158-161.

- SEGURA, J. 1988, Termodinámica técnica. Editorial Reverté. Barcelona.
- SEXL, R. U. 1981, Some Observations Concerning the Teaching of the Energy Concept. Innovation and Developments. *Int. J. Sci. Educ.* 285-289.
- SEXL, R. U. 1983, What you always wanted to know about entropy and never dared to ask. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 100-110.
- SHAYER, M. 1978, A test of validity of Piaget's construct of formal operational thinking. Thesis. Univ. of London. Londres.
- SHAYER, M. y ADEY, P. 1984, La Ciencia de enseñar Ciencia. Desarrollo cognitivo y exigencias de curriculum. Ed. Narcea. Madrid.
- SMITH, J y VAN NESS, H. 1980, Introducción a la termodinámica en ingeniería química. Mc Graw. México.
- SOLOMON, J. 1982, How children learn about energy or Does the first law come first? *School Science Review*. 415-422.
- SOLOMON, J. 1983, Learning about energy: how pupils think in two domains. *Eur. J. Sci. Edu.*, vol. 5, no. 1, 49-59.
- SOLOMON, J. 1983, Learning about energy. *A study of fourth year pupils in a school Physics course*. Ph. degree Chelsea College Univ. of London.
- SOLOMON, J. 1983, Thinking in two worlds of knowledge. *Proceedings of International Seminar "Misconceptions in Science and Mathematics"*, Cornell University USA.
- SOLOMON, J. 1984, Prompts, cues and discrimination: the utilization of two separate knowledge systems. *Eur. J. Sci. Educ.* 6 (3), 277-284.
- SOLOMON, J. 1985, Teaching the conservation of energy. *Phys. Educ.*, 20. Northern Ireland. 165-170.

SOLOMON, J., BLACK, P. y STUART, H. 1987, The pupils' view of electricity revisited: social development or cognitive growth? *Int. J. Sci. Educ.* 9, (1), 13-22.

SOLOMON, J. 1988, Research Notes. *Studies in Science Education*, 15. 103-108.

SONG, J. y BLACK, P. J. 1991, The effects of task contexts on pupils' performance in science process skills. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 13, no. 1. 49-58.

SONG, J. y BLACK, P. J. 1991, The effects of concept requirements and task contexts on pupils' performance in control of variables. No publicado. King's College, London.

STRNAD, J. 1984, The second law of thermodynamics in a historical setting. *Phys. Educ.*, vol. 19. Northern Ireland. 94-100.

SüKÖSD, C. 1983, School experiments for the second law. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 497-499.

SUMMERS, M. K. 1983, Teaching heat-an analysis of misconceptions. *School Science Review*. 670-676.

THOMSEN, P. 1983, Thermodynamics for the whole school population. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 375-387.

THOMSEN, P. 1985, Teaching the concepts of kinetic energy: Potential energy and internal energy to 14-15 years old students of mixed ability. *Conference on Physics Education*. Utrecht. 607-624.

TOULMIN, S. 1977, El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Alianza Univ. N° 191. Madrid.

TRIBUS, M. y McIRVINE, E. C. 1971, Energy and Information. *Scientific American*. vol. 225, no. 3. California. 1-11.

TRUESDELL, C. 1980, The tragicomical history of Thermodynamics. Springer, Verlag. Heidelberg Berlin. 1822-1854.

- TRUMPER, R. 1990, Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept-part one. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 12, no. 4. 343-354.
- UREVBU, A. O. 1984, Teaching concepts of energy to Nigerian children in the 7-11 year-old age range. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 21, no. 3. 255-267.
- VARMA, V. S. 1983, Simulation of a disordered system. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 369-371.
- VICENTINI-MISSONI, M. 1983, Entropy as an intuitive variable for macroscopic system. *Proceedings of the International Conference: Entropy in the School*. Budapest. 271-281.
- VIENNOT, L. 1979, Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *Eur. J. Sci. Educ.*, 1 (2), 205-221.
- VIENNOT, L. 1985, Analysing students' reasoning in science: A pragmatic view of theoretical problems. *Eur. J. Sci. Educ.*, 7 (2), 151-162.
- VIENNOT, L. 1985, What so we learn from similarities between historical ideas and the spontaneous reasoning of students. *Conference on Physics Education*. Utrecht.
- VIENNOT, L. 1986, Mécanique et énergie pour débutants. L.D.P.E.S. y I.R.E.M. Université Paris.
- VIENNOT, L. 1987, Raisonnement fonctionnel à plusieurs variables difficultés et échappatoires courantes. *Congrès S. F. P.* Strasbourg.1-18.
- VIENNOT, L. 1988, Obstacle épistémologique et raisonnements en physique: tendance au contournement des conflits chez les enseignants. *Colloque International C.I.R.A.D.E.* Montréal.
- VIENNOT, L., Tendance à la réduction fonctionnelle: obstacle au savoir scientifique et objet de consensus. L.D.P.E.S. Paris 1-9.

VIGLIETTA, L. 1990, A more 'efficient' approach to energy teaching. *Int. J. Sci. Educ.*, vol. 12, no. 5. 491-500.

VYGOSTKY, L. S. 1977 (1934 1ª ed.), Pensamiento y lenguaje. Ed. La Pleyade. Buenos Aires.

VYGOSTKY, L. S. 1979, El desarrollo de los procesos psicológicos superiores. Ed. Crítica. Barcelona.

WALDRAM, J.R.1985, The theory of thermodynamics. Cambridge University Press, Cambridge.

WARREN, J. W. 1982, The nature of energy. *European Journal of Science Education*, nº4, 3, 295-297.

WARREN, J. W. 1983, Some alternative views of energy. *Phys. Educ.*, Vol 18. Northern Ireland.

WARREN, J. W. 1983, Energy and its carriers: a critical analysis. *Phys. Educ.*, vol. 18. Northern Ireland. 209-212.

WATTS, D. M. 1980, An exploration of student's understanding of the concepts "force" and "energy". *Paper represented at the International Conference on Education for Physics Teaching*. Trieste.

WATTS, D. M. 1983, Some alternative views of energy. *Phys. Educ.*, vol. 18. Northern Ireland. 213-217.

WATTS, D. M. 1983, Using networks to represent pupils' meanings for concepts of force and energy. *Qualitative data analysis for educational research*. Canberra (Croom Helm), 89-96.

WENHAM, E. , DORLING, G. y TAYLOR, B.1972, Physics. Concepts and models. London.

WEST, L.H.T. y PINES, A.L. 1985, Cognitive structure and conceptual change. Academic Press Inc.

WESTPHAL, W. 1985, What is the practical use of knowing mechanics? -outline of a problem- *Conference on Physics Education*. Utrecht. 352-358.

WOOLLETT, E.L. 1979, Available energy via non equilibrium thermodynamics, *American Journal of Physics* , n°47(3) , 250-258





Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Biblioteques

Reg. 22179P

Sig. _____

Ref. 12500

