

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



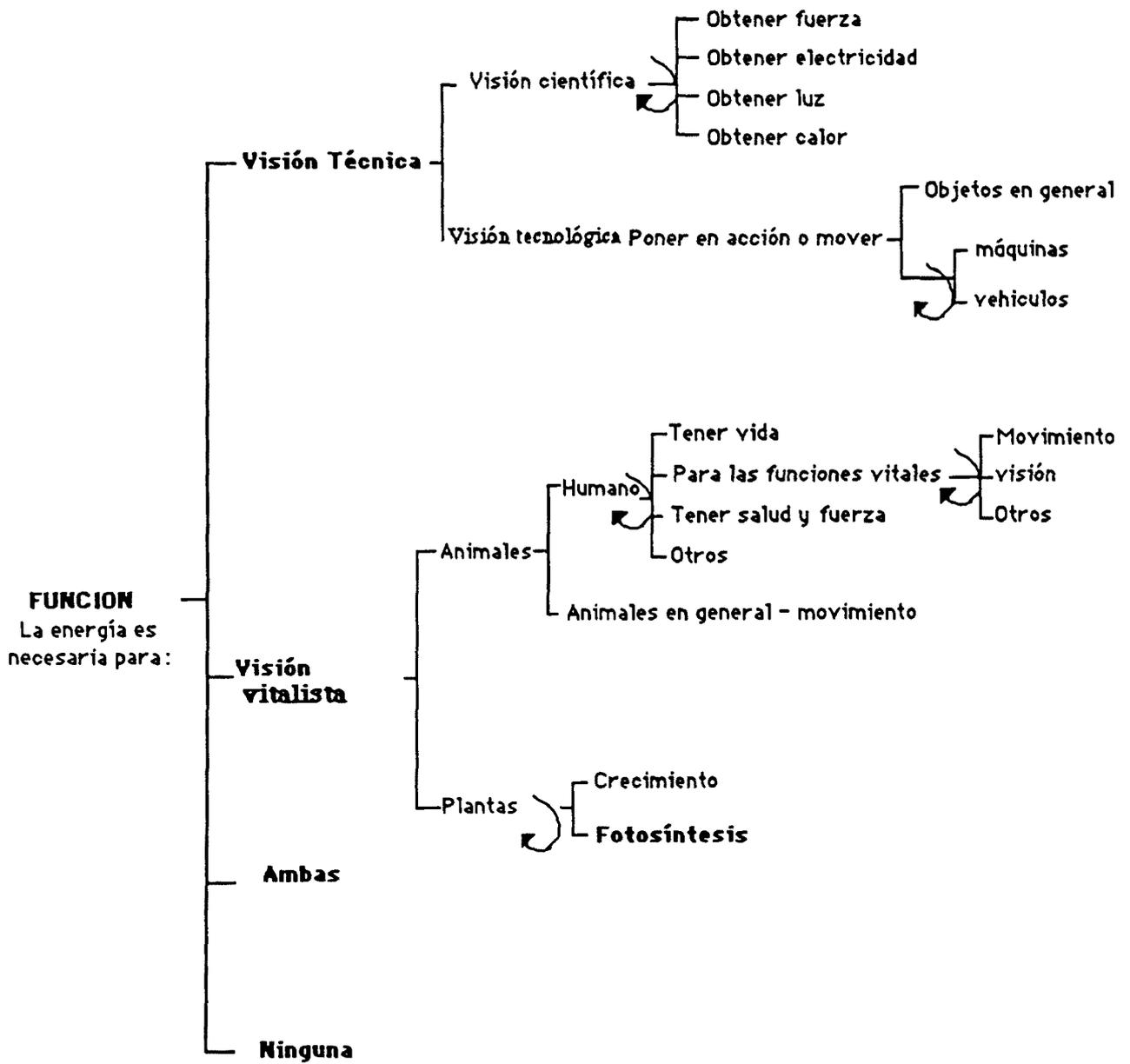
Bellaterra, Noviembre 1991

4.5. Concepciones sobre las funciones de la energía.

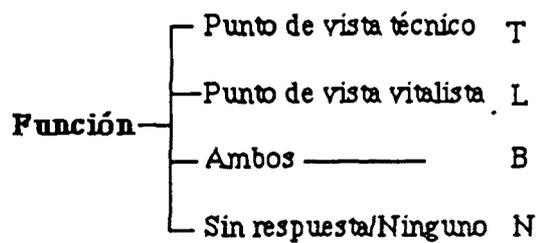
4.5.1. Categorías establecidas

Los alumnos en sus respuestas a los cuestionarios a menudo responden: la energía se necesita en para diversos procesos, actividades, objetos, etc...Por ello se ha elaborado una red sistémica que englobe todos estos tipos de respuestas. A continuación se ha codificado las respuestas dándoles diversas categorías. En la página siguiente se encuentra la red sistémica. Para las siguientes averiguaciones sólo se ha utilizado las categorías más generales.





Las categorías mayores son:



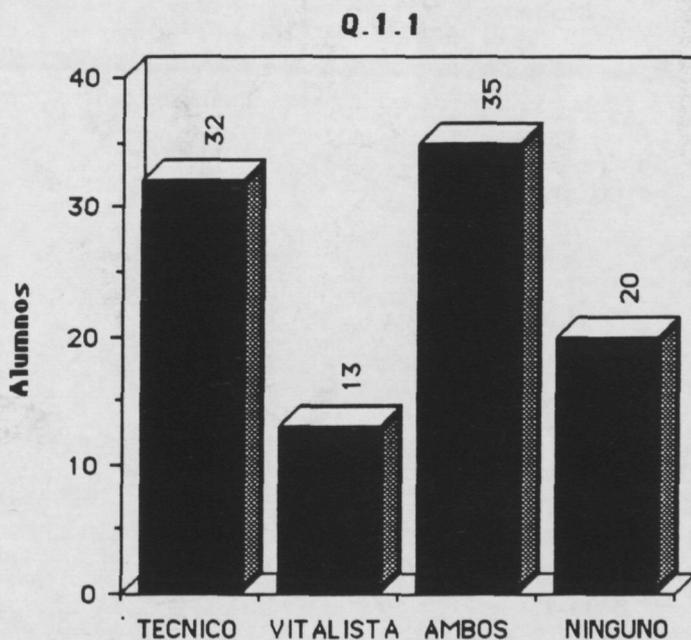
4.5.2. Descripción de los resultados

Para la primera cuestión:

Cada respuesta de la cuestión Q-1-1 ha sido clasificada según el punto de vista que manifestaba sobre la función de la energía en::

Técnico - T - 32
Vitalista - L - 13
Ambos - B - 35
Ninguno - N - 20

100 respuestas (de 100 alumnos)



• **Función:** Histograma de las respuestas de Q-1-1

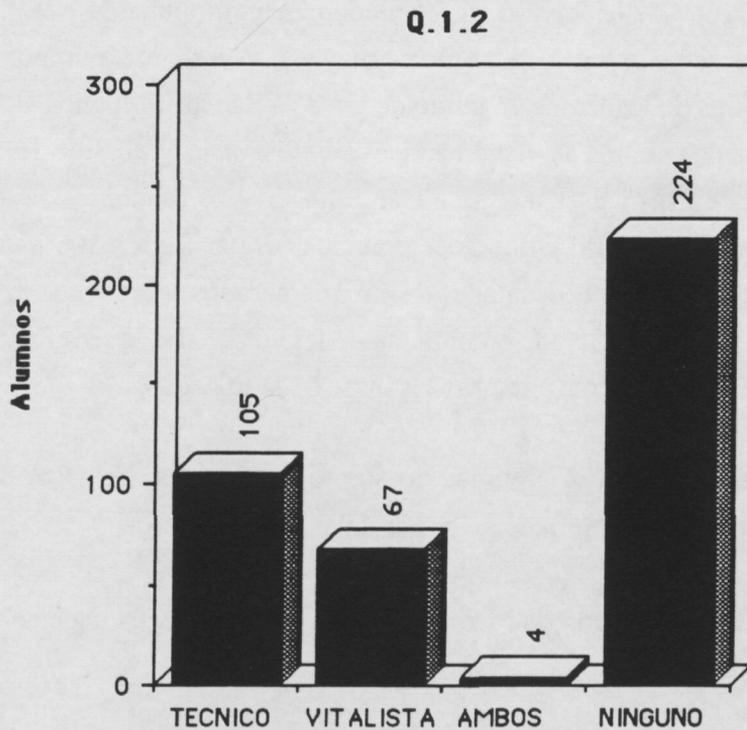
Lo más usual es que los alumnos piensen que la energía es necesaria para ambos usos: los correspondientes al mundo técnico y al de las funciones vitales (Ambos - **B** = 35).

Podemos probar si es posible clasificar a los alumnos en alguna de las cuatro categorías. Estadísticamente se comprueba (Anexo 2 cap.4) que no es posible. A partir de la cuestión Q-1-1, no podemos afirmar que los alumnos asocien con mayor frecuencia la energía al mundo de la técnica que al de los seres vivos; muchos de ellos expresan ideas que corresponden a ambas categorías

Descripción de los resultados para la segunda cuestión:

Al codificar cada frase de la segunda cuestión según las mayores categorías de la red sistémica se obtiene la siguiente tabla de resultados:

Técnico	- T - 105
Vitalista	- L - 67
Ambos	- B - 4
Ninguno	- N - 224
Total	400 frases (de 100 alumnos)



• **Función:** Histograma de las respuestas de Q-1-2

Ahora, el punto de vista técnico (105) aparece más a menudo que el de los seres vivos (67). También observamos muy frecuentemente (224) que los alumnos hacen frases sin referirse a la función de la energía. Si expresan la necesidad de la energía frecuentemente su punto de vista es técnico o vitalista, pero no ambos a la vez, como sucedía en Q-1-1, (por ello el grupo B cuenta ahora con pocos alumnos: 4).

Analícemos ahora cómo son los conjuntos de cuatro frases de cada alumno

		1 o más		
		T	no T	
1 o más L		27	19	46
no L		38	16	54
		65	35	100

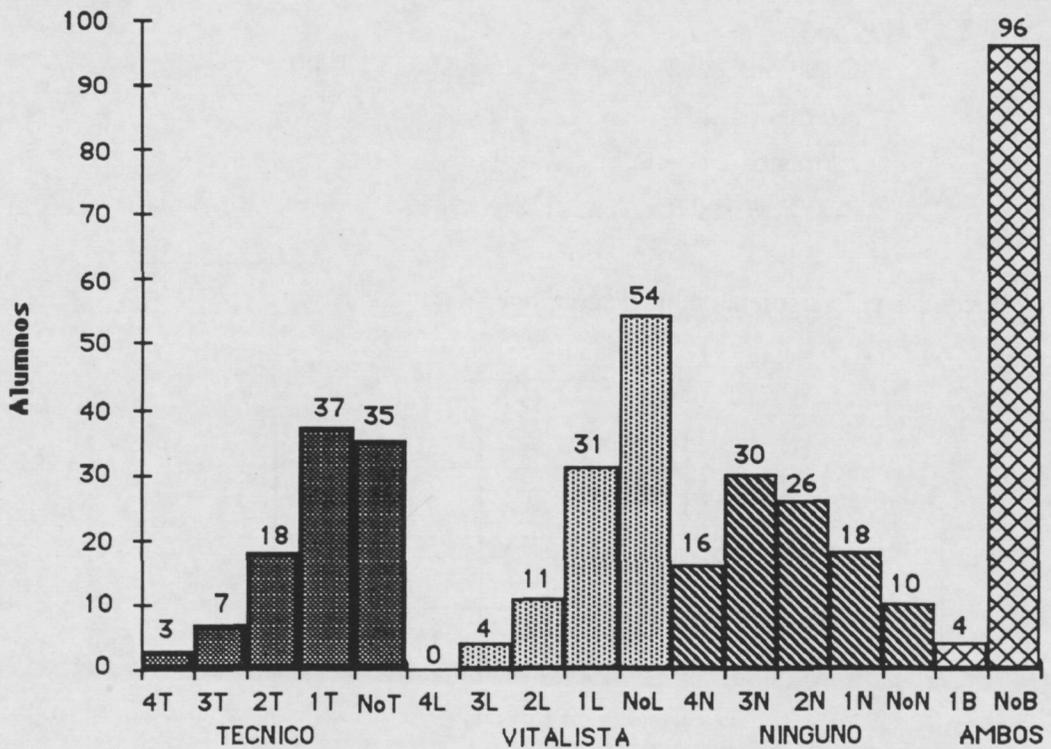
$\chi^2 = 1.58$

A partir de la tabla podemos decir que:

El mayor valor (38) corresponde al grupo de alumnos que demuestran un punto de vista técnico en alguna de las cuatro frases y además en ninguna de ellas hacen referencia al mundo de los seres vivos. Este grupo es mayor que el de los alumnos (19) que muestran en al menos tres de las frases un punto de vista "Vitalista". Muchos alumnos (27%) hacen frases con los dos puntos de vista (técnico y vitalista a la vez). Solo 16 alumnos de los 100 no se refieren en sus frases a alguna idea relativa a las funciones de la energía. Estos 16 alumnos no dicen cuando y donde se precisa energía. De los 100 alumnos, 54 no hacen frases refiriéndose a las necesidades de energía para los seres vivos, frente a los 46 que sí lo hacen. También hay 35 que en ninguna de las cuatro frases se refieren a la necesidad de energía para usos técnicos, mientras los otros 65 sí lo hacen.

De todos modos, estas diferencias no son significativas. El valor de χ^2 es inferior al necesario para poder decir que hay una relación relevante

Veamos gráficamente con qué frecuencia los alumnos hacen asociaciones libres de cada una de las categorías:



Número de frases de cada una de las categorías

Según este diagrama de barras podemos afirmar que sólo 10, de los 100 alumnos, hacen las cuatro frases refiriéndose a alguna de las funciones de la energía. Esto significa que en cada una de las cuatro frases muestran un punto de vista técnico y/o vitalista. Es más bien frecuente (30%) que los alumnos hagan sólo una de las frases refiriéndose a la función de la energía (3N).

Comparación de las respuestas a las dos cuestiones

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 y el número de alumnos con las categorías establecidas es:

Alumnos con al menos 2 T frases	28
Alumnos con al menos 2 L y menos de 2 T frases.....	12
Alumnos con menos de 2 T y 2 L frases.....	60

Aceptando la biyección:

Cuestión Q-1-2	Cuestión Q-1-1
Al menos 2 T.....	T
Al menos 2 L, < 2 T.....	L
< 2 T y < 2 L.....	N

Se puede hacer la siguiente tabla de contingencia

		→ Q.1.1				
		T	L	B	N	
Q.1.2	Al menos 2T	13	2	7	6	28
	Al menos 2L y < 2T	1	0	7	4	12
	< 2T, < 2L	18	11	21	10	60
		32	13	35	20	

$\chi^2 = 11.05$
 $df = 6$
 Significación < 0.1, > 0.05

Hay alguna consistencia en las respuestas de los alumnos que procede especialmente de los que en la primera cuestión asocian la energía con el mundo de la técnica y mantienen este punto de vista en la segunda cuestión.

(En el Anexo 3 capítulo 4 se encuentra otro modo de clasificar a los alumnos de acuerdo con su conjunto de 4 frases, obteniéndose resultados similares)

Comparación de las respuestas de los alumnos por escuela

Podemos comparar si en las respuestas dadas a cada una de las cuestiones influye la escuela a la que pertenezcan los alumnos. De nuevo, elaboramos unas tablas de contingencia para cada una de las cuestiones

Q.1.1 →

	T	L	B	N	
Esc. O	9 ⁻⁷	9 ^{+2.5}	22 ^{+4.5}	10 ⁰	50
Esc. C	23	4	13	10	50
	32	13	35	20	

$\chi^2 = 4.88$
0.1 - 0.2

Q.1.2 →

	T	L	B	N	
Esc. O	34 ^{-18.5}	42 ^{+8.5}	0 ⁻²	124 ⁺¹²	200
Esc. C	71	25	4	100	200
	105	67	4	224	400

$\chi^2 = 11.9$
df = 3
< 0.01

En la segunda cuestión los estudiantes de la escuela **O** se refieren a las funciones de la energía en menos casos que los estudiantes de la escuela **C**. Y además lo relacionan más frecuentemente con los seres vivos que con los usos técnicos ($\chi^2 = 11.9$; df = 3; significación < 0,01 para la cuestión Q-1-2).

Comparando los resultados entre las escuelas para la primera cuestión no se obtiene una relación significativa ya que $\chi^2 = 4.88$ que con df = 3 supone una significación entre 0.1 y 0.2.

Para obtener unos resultados más claros podemos clasificar las respuestas según se refieran al mundo de la técnica o no o bien estén o no centradas en el mundo de los seres vivos (Ver cálculos en el Anexo 4 a capítulo 4)

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.

Llegamos a la conclusión que existe correlación entre el tipo de escuela y la concepción de los alumnos sobre las funciones para las que se precisa energía.

Habíamos concluido anteriormente que en la visión de la naturaleza de la energía también influye la escuela a que pertenecen los alumnos. A la vista de los resultados podemos preguntarnos: ¿Son los alumnos de la escuela **O** más antropocéntricos debido a que sus necesidades materiales están ya cubiertas? o bien ¿tienen más presente el mundo tecnológico los alumnos de la escuela **C** debido al trabajo de sus padres? No es el propósito de esta investigación profundizar en estos aspectos pero podría ser objeto de estudio.

Comparación de las respuestas de los alumnos por niveles

Si hacemos la comparación por niveles 6º y 7º observamos diferencias significativas (Ver Anexo 5 capítulo 4).

Los alumnos de 6º piensan más frecuentemente que los de 7º en que la energía es necesaria para máquinas, motores y objetos tecnológicos, en general. Los de 7º mencionan con mayor frecuencia la necesidad de energía para los seres vivos.

¿Cómo podemos explicarnos estas diferencias en alumnos que no han recibido enseñanza específica sobre energía?

La diferencia entre los niveles 6º y 7º puede ser consecuencia de los estudios de biología que los alumnos hacen en 6º curso. Cuando los alumnos empiezan 6º probablemente no habrán oído nunca hablar de energía en sus clases. Pero al principio de 7º ya habrán tenido algunas nociones sobre fotosíntesis, nutrición y otros aspectos similares de biología. Estos temas son estudiados al final del 6º curso.

4.5.3. Conclusiones acerca de las Concepciones sobre la función de la energía

1. Los alumnos se refieren más a menudo a situaciones u objetos que requieren energía cuando se les pregunta "¿Qué significa energía?" Ya que no pueden definir la energía, explican sus funciones..En este caso (Q-1-1), muy a menudo atribuyen funciones a la energía tanto referidas a los seres vivos como a los objetos técnicos. En algunos casos (13%) sólo consideran que se precisa energía para los seres vivos.

2. Cuando los alumnos hacen frases libres sobre la energía (Q-1-2) a menudo no se refieren a las funciones de la energía. Si lo hacen, piensan fundamentalmente en aspectos conectados con el mundo técnico.

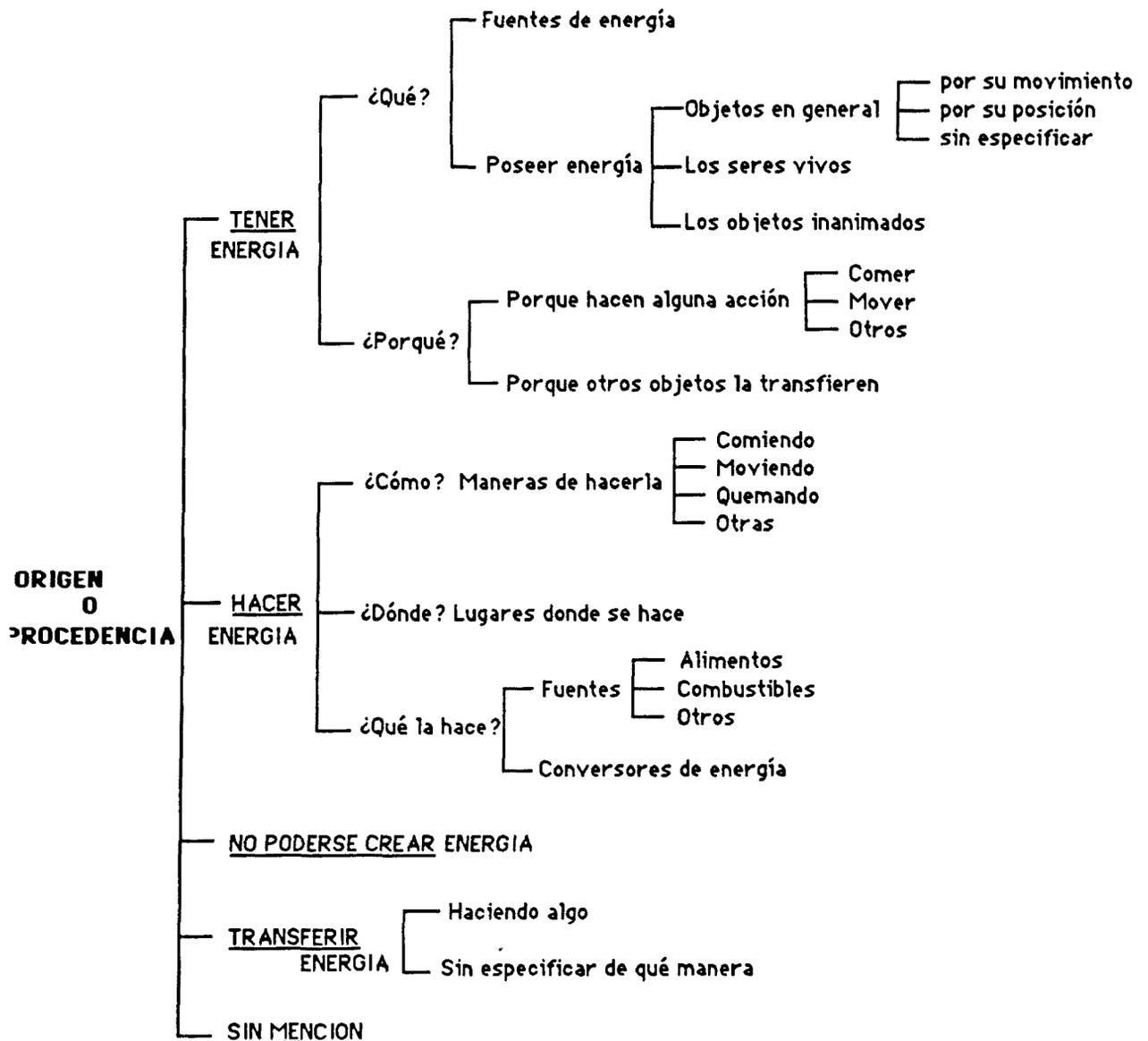
3. Los alumnos de la escuela C se refieren más a menudo que los de la escuela O a situaciones del mundo técnico para las que se requiere energía. En contraposición éstos citan con mayor frecuencia las funciones de los seres vivos.

4. Los alumnos que han recibido un curso de Ciencias Naturales sobre alimentación o fotosíntesis (alumnos de 7º) desplazan su primera idea de que la energía es necesaria para los objetos del mundo técnico y citan especialmente a los seres vivos.

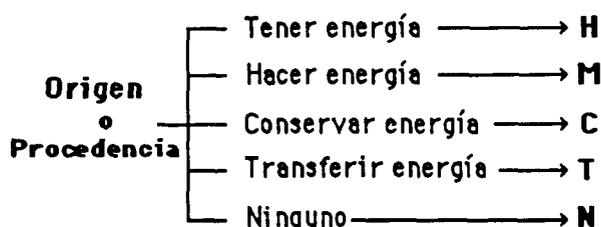
4.6. Concepciones sobre procedencia de la energía

4.6.1. Categorías establecidas

En muchas de las respuestas de los alumnos hemos observado persistentemente que aparecían sobre "de donde viene la energía". Por esta razón ha parecido necesario establecer una nueva dimensión que hemos denominado Origen o Procedencia de la energía. La codificación de las frases se ha basado en la siguiente red sistémica:



Las categorías más generales son:



4.6.2. Descripción de los resultados

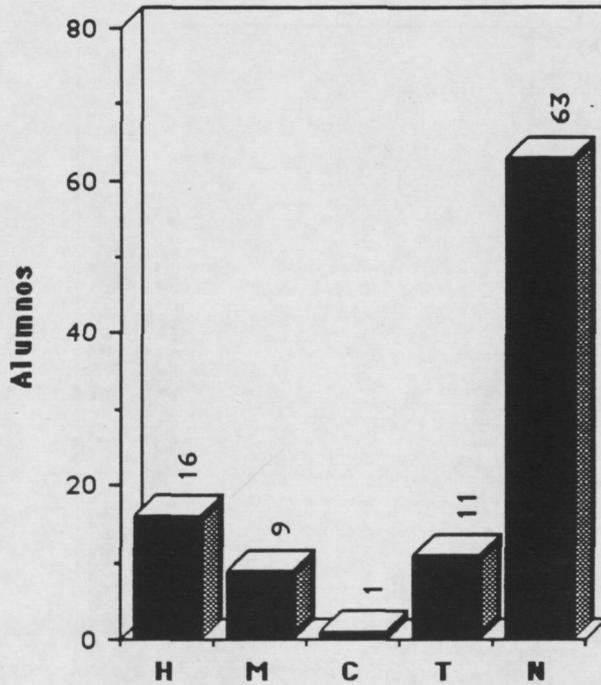
Para la primera cuestión:

La codificación de las respuestas a la primera cuestión da los siguientes resultados:

Tener energía.....	16
Hacer energía.....	9
Conservación.....	1
Transferencia.....	11
Sin mención.....	63

Hay 63 alumnos que no hablan sobre el origen o procedencia de la energía. En las respuestas de los alumnos referidas al origen de la energía, en la primera cuestión, la idea más común es "tener energía o transferir energía". La idea de que la energía se puede transferir de un lugar a otro es muy común, pero muchas veces los alumnos no lo concretan. Solo se ha incluido en la categoría T a los alumnos que sí lo concretan. (Transferencia de energía es entendido aquí como paso de un sistema a otro, podrían imaginar un fluido)

Q.1.1



• **Origen o Procedencia:** Histograma de frecuencias de Q-1-1

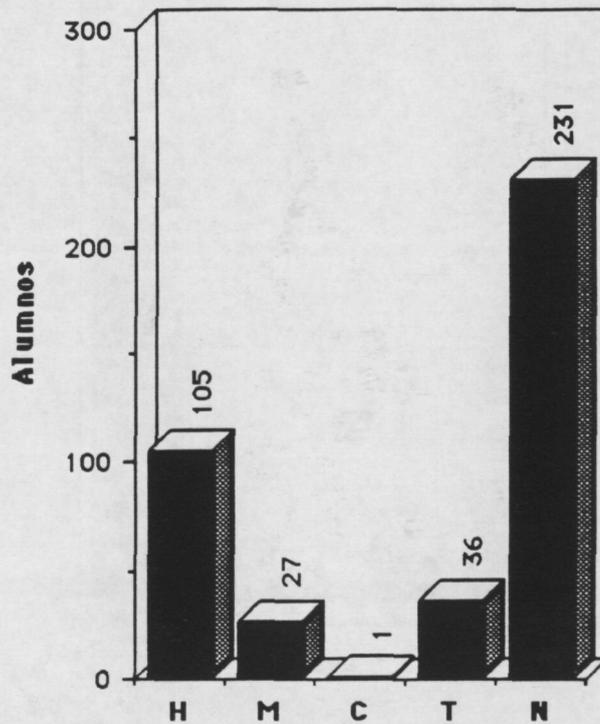
Descripción de los resultados para la segunda cuestión:

La codificación de las respuestas a la segunda cuestión da el siguiente resultado:

Tener energía.....	105
Hacer energía.....	27
Conservación.....	1
Transferencia.....	36
Sin mención.....	231
Total	400 respuestas (de 100 alumnos)

En las respuestas de los alumnos que realizan asociaciones libres sobre el origen de la energía, la idea más común es "tener energía o transferir energía".

Q.1.2



• Origen o Procedencia: Histograma de frecuencias de Q-1-2

Este diagrama de barras es similar al de la cuestión Q-1-1. Como el anterior, más de la mitad de las frases no dan ninguna explicación sobre el origen o procedencia de la energía. Tener energía y transferir energía también son las ideas más populares. Tratar de comparar los resultados de las dos cuestiones no tiene sentido dado el gran número de respuestas "sin mención".

Comparación de las respuestas a las dos cuestiones

El conjunto de 4 frases por alumno en Q-1-2 se pueden agrupar de la siguiente manera:

Al menos 2 frases con la idea Hacer energía.....	5
Al menos 2 frases con la idea Transferir y no 2 sobre Hacer energía.....	6
Al menos 2 frases con la idea Tener energía y no 2 Transferir ni 2 Hacer.....	34
No 2 Tener, No 2 Hacer, no 2 Transferir.....	55

	100 alumnos

Observamos que pocos alumnos repiten categoría.

4.6.3. Conclusiones acerca de las Concepciones sobre el origen o la procedencia de la energía

1. Los alumnos que no han tenido ninguna enseñanza sobre energía tienen de ella una concepción como de algo que "procede de... y se puede transportar a...". Un sólo alumno se ha referido a la conservación de la energía aunque probablemente no conoce su completo significado. En algunos casos (27 frases libres) se menciona el "hacer energía", pero la expresión más repetida es "tener energía" (16 alumnos para Q-1-1 y 105 frases para Q-1-2). De todos modos, esta categoría "tener energía" quizás tendría que ser subclasificada ya que incluye muy diversos aspectos: "fuentes de energía que tienen energía", "hombres y animales tienen energía" y "los objetos en movimiento tienen energía". Dado el bajo número de frases no podríamos, en cualquier caso, hacer un estudio estadístico.

2. Esta referencia a lo que hemos denominado origen o procedencia de la energía se encuentra tanto en las respuestas a que "¿Qué significa energía?", como en las frases de asociación libre. (cerca de un 40%)

3. Al comprobar si son los mismos alumnos los que repiten esta idea constatamos que no es así. Casi la mitad de ellos mencionan al menos una vez su concepción sobre la procedencia de la energía

4.7 Concepciones sobre "almacenamiento" de la energía

Al leer las frases libres de los alumnos se constata que varias de ellas están relacionadas con lo que hemos denominado "almacenamiento de la energía". "Es necesario ahorrar la energía, la energía se acaba, se pierde, se gasta, etc..." son frases más bien frecuentes. Por esto se ha tratado una nueva dimensión.

4.7.1. Categorías establecidas

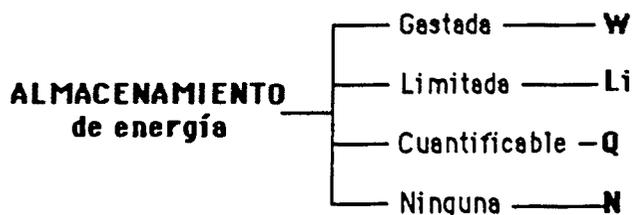
Se clasifican las ideas de los alumnos en las siguientes categorías:

W- La energía se gasta, se pierde, se quema, se usa, etc.

L- La energía es limitada. Incluye: la energía se acaba, falta energía, queda poca energía, es necesario ahorrar energía.

Q- La energía es cuantificable, se puede usar una mayor o menor cantidad. Esta categoría incluye ideas como: tener más energía, tener suficiente energía, tener mucha energía, menos energía, toda la energía.

La red sistémica resultante es:



4.7.2. Descripción de los resultados

Para la primera cuestión:

En la 1ª cuestión, sólo 10 alumnos hacen frases refiriéndose a esta dimensión:

Gastada	- W - 5
Limitada	- Li - 2
Cuantificable	- Q - 3
Ninguno	- N - 90
Total 100 respuestas (de 100 alumnos)	

No merece la pena analizar o comparar resultados. De todos modos es interesante señalar que algunos estudiantes explican su concepción sobre almacenar energía cuando se les pregunta qué entienden por energía.

En la segunda cuestión: Cuando los alumnos hacen asociaciones libres, la palabra energía les sugiere ideas que hemos calificado como "Almacenamiento de la energía" con la siguiente frecuencia:

Gastada	- W - 23
Limitada	- Li - 35
Cuantificable	- Q - 48
Ninguno	- N - 294
400 respuestas (de 100 alumnos)	

En un análisis más pormenorizado de las respuestas encontramos que un 54% de los alumnos menciona aspectos de almacenamiento de energía.

Después de comparar las frases de la cuestión Q-1-2 con las respuestas de la cuestión Q-1-1 se observa que: De 10 alumnos que se refieren al "almacenamiento de energía" en Q-1-1 sólo 6 de ellos también lo hacen en Q-1-2. No podemos comparar más a fondo las respuestas dadas a las dos cuestiones, es imposible encontrar ninguna relación significativa con valores numéricos tan pequeños. A la vez, ésto nos indica que de 100 alumnos 58 se refieren en uno u otro momento del cuestionario a este aspecto.

"Gastarse la energía", "ser limitada la energía" y "tener poca o mucha energía" (las tres categorías W, L, Q que hemos establecido) son expresiones que con relativa frecuencia aparecen en los medios de comunicación y en particular en la televisión. Parece ser que nuestros alumnos han captado estas ideas y las repiten cuando tienen que hablar de energía. Otros estudios podrían profundizar en como intervienen los medios de comunicación en la formación del concepto de energía. No es esta la pretensión del presente trabajo.

4.8. Relación entre las concepciones detectadas en cada uno de los dominios

Después de analizar las respuestas de los alumnos codificadas en 4 dominios (Naturaleza, Función, Origen o Procedencia, Almacenamiento), es necesario explorar si existe alguna relación entre ellos y si es posible obtener algunos modelos o pautas de razonamiento. Se han cruzado los diferentes dominios entre sí. Según las denominaciones asignadas, son::

Naturaleza-Función
Naturaleza-Origen o Procedencia
Función -Origen o Procedencia
Origen o Procedencia-Almacenamiento
Naturaleza-Almacenamiento
Función-Almacenamiento

4.8.1. Comparación entre Naturaleza y Función

Podemos buscar si existe alguna correlación entre las frecuencias observadas en cada una de las categorías de las dimensiones Naturaleza y Función. Para ello construimos las tablas de contingencia pertinentes. (Ver Anexo 6 capítulo 4)

En las respuestas a Q-1-1 y a Q-1-2 correspondientes a estas dos dimensiones se intenta averiguar si hay alguna relación.

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 $< 0,001$).

Las relaciones son:

1. Los alumnos que dan una definición de energía relacionada con una idea científica muestran un punto de vista técnico en la función de energía, y en algunos casos una visión conectada a las necesidades de los seres vivos. Y viceversa, los alumnos que asocian la energía con las necesidades del mundo técnico a menudo piensan en la energía como concepto científico.
2. Los alumnos que definen la energía como algo útil para mover, poner en acción diferentes objetos, etc... o sea que definen la energía por sus usos, muy a menudo muestran un punto de vista vitalista sobre la función de la energía. Y viceversa, los alumnos que piensan que la energía es algo necesario para las funciones de los seres vivos no le atribuyen una naturaleza científica sino que sólo piensan en sus usos.

• Los alumnos que no son capaces de explicar qué es la energía tampoco son capaces de explicar para que sirve o es necesaria.

Si estas relaciones son consistentes se podría clasificar a los alumnos en tres grupos:

Grupo 1 - Alumnos con unas ideas científicas sobre la naturaleza de la energía y una visión técnica sobre la función de esta.

Grupo 2 - Alumnos con unas ideas utilitarias sobre la naturaleza de la energía y un punto de vista centrado en los seres vivos como función de ella..

Grupo 3 - Alumnos sin ideas sobre la naturaleza de la energía ni sobre para qué es necesaria.

4.8.2. Comparación entre Naturaleza y Origen o Procedencia

Al hacer la tabla de contingencia entre las categorías del dominio Naturaleza con las del dominio Origen o Procedencia de la Energía observamos algunas relaciones significativas (Ver Anexo 7 capítulo 4)

Si los alumnos sólo piensan en la utilidad de la energía y no la relacionan con un concepto científico, entonces se refieren al origen o procedencia de la energía más a menudo que otros. Particularmente mencionan el "tener energía" más frecuentemente.

Por el contrario, los alumnos que asocian la energía a un concepto científico, pocas veces se refieren a el origen de ésta y raramente hablan de "tener energía".

4.8.3. Comparación entre Función y Origen o Procedencia

Debido a las correlaciones encontradas entre los dominios Naturaleza-Función y Naturaleza - Origen o Procedencia, es de esperar hallar alguna correlación entre los resultados de los dominios Función y Origen. Se puede prever lo siguiente.

Los alumnos que piensan que la energía es necesaria para las funciones vitales de la vida, también piensan que los objetos (quizás sólo los objetos vivos) tienen energía. Y en general, es de esperar que estos alumnos hablen a menudo de "tener energía".

También es de suponer que pocos alumnos que consideran la energía necesaria para el mundo técnico a la vez se referirán a su procedencia. Pero estas relaciones entre los dominios Función y Origen no aparecen en la primera pregunta ($\chi^2 = 8.8$; $df = 6$; significación > 0.3) ni en la segunda ($\chi^2 = 13.9$; $df = 6$; significación $= 0.1$). (Ver Anexo 8 capítulo 4)

4.8.4. Comparación entre Origen o Procedencia y "Almacenamiento"

En la primera pregunta pocos alumnos mostraban su concepción sobre de donde proviene la energía ni su idea de almacenamiento. No tiene pues, sentido cruzar los resultados de Q.1.1. Pero el número de frases de Q.1.2 que se refieren a Almacenamiento y a Origen o Procedencia de la energía es suficientemente grande como para tenerlo en cuenta. Se han cruzado las categorías correspondientes a Origen y Almacenamiento, y se ha evidenciado cierta relación ($\chi^2 = 25.7$; $df = 9$; significación $< 0,01$). (Ver Anexo 9 capítulo 4)

La relación observada es la siguiente:

Los alumnos que hablan sobre tener energía también hablan más a menudo que otros sobre la energía como algo cuantificable y limitado. ¿Quizás están pensando en la energía como en un objeto material?

Y viceversa, los alumnos que consideran la energía como algo que poseen los objetos, también se refieren más a menudo que otros a la procedencia de la energía.

4.8.5.Comparación entre Naturaleza y Almacenamiento

¿Hay alguna relación entre las concepciones que tienen los alumnos sobre la Naturaleza de la energía y la Cantidad de energía almacenable?

No tiene sentido cruzar las dos categorías en la primera pregunta debido al bajo número de alumnos (10) que se refiere a almacenamiento de energía cuando se les pregunta "¿Qué significa la energía?" (Q.1.1).

Cruzando las categorías correspondientes a Naturaleza y Almacenamiento para la segunda cuestión se encuentra una relación ($\chi^2 = 16.6$; $df = 6$; significación < 0.02). (Ver Anexo 10 capítulo 4). La relación es:

Los alumnos que piensan en la energía como un concepto científico en pocos casos se refieren la cantidad de energía. Los alumnos que asocian la energía con sus utilidades a menudo dicen que se gasta, pierde, está limitadaa etc.

4.8.6.Comparación entre Función y "Almacenamiento"

No es adecuado cruzar estas dos categorías en la primera pregunta debido al bajo número de respuestas que se refieren a la cantidad de energía.

Después de cruzar Función y Almacenamiento en la segunda pregunta, no se ha podido encontrar ninguna relación significativa ($\chi^2 = 10.8$; $df = 9$; significación < 0.2). (Ver Anexo 11 capítulo 4)

Los alumnos que piensan que la energía es necesaria para los seres vivos, normalmente también expresan que ésta es cuantificable. Pero la relación no es suficientemente fuerte.

4.9. Conclusiones de las comparaciones entre los 4 dominios

Después de los anteriores cruces entre las diferentes dimensiones, parece posible clasificar a los alumnos en tres grupos generales:

Grupo 3 - Alumnos sin una idea sobre la energía.

Grupo 2 - Los alumnos con una idea utilitaria sobre la naturaleza de la energía y que la consideran como un objeto material, y por lo tanto que es posible tener y almacenar. Estos alumnos con una idea utilitaria a menudo también piensan que la energía es necesaria para las funciones vitales de los seres vivos.

Grupo 1 - Los alumnos con una concepción más científica sobre la naturaleza de la energía no hablan sobre la posesión de energía y tampoco sobre su almacenamiento. Muchos de estos alumnos piensan que la energía es necesaria para el mundo técnico.

Entonces, parece que hay dos ideas generales sobre la energía: *La energía como objeto y la energía como concepto.*

Sería necesario estudiar más profundamente la consistencia de estas afirmaciones, por lo que conlleva de consecuencias para la enseñanza.

4.10. Clasificación de las concepciones

Consideraciones previas: Si el modelo es correcto, tendríamos:

Grupo 1 - Muchos alumnos con una concepción científica (S) hablan sobre las necesidades de la energía en el mundo técnico (T) y no hablan sobre el origen o procedencia de la energía (o al menos no dicen "tener energía" o "hacer energía") (N). El grupo STN tiene que ser grande.

Grupo 2 - Muchos alumnos con ideas utilitarias sobre la energía (Uses), que a menudo piensan sobre su función en los seres

vivos (L) y se refieren a que la energía "se hace" o "se tiene" (P). Entonces los grupos ULP y UBP tienen que ser grandes.

Grupo 3 - Hay un grupo de alumnos que no dicen nada sobre la naturaleza, función y origen de la energía. Este es el grupo ONN.

Para conocer si son ciertas estas hipótesis, se ha comparado los datos de que disponemos con los obtenidos estadísticamente. Se ha calculado cuántos alumnos tendría que tener cada grupo (si no se calcula el número de alumnos esperado para cada grupo, no sería posible decir si el número encontrado empíricamente es alto o bajo, o al menos mayor o menor que el que nos da la probabilidad). (Mayores detalles se encuentran en el Anexo 12 capítulo 4)

Se ha elaborado unos diagramas de barras poniendo en el mismo eje de coordenadas los valores esperados y los encontrados en que ya se manifiesta que las diferencias entre unos y otros pueden ser significativas. También se ha hecho una representación tridimensional de los valores esperados y los observados en que ya se intuye que los datos estadísticos evidenciarán asociaciones de categorías superiores a las que estadísticamente se esperarían. Los diagramas de barras y las representaciones tridimensionales (con los valores de χ^2 y el nivel de significación de las relaciones) se encuentran en las páginas siguientes.

Después del cálculo estadístico podemos decir que la hipótesis es correcta. Los grupos STN, UBP, ULP, ONN son significativamente superiores. La clasificación establecida en las conclusiones es consistente.

Por tanto, se puede hablar de tres grupos de alumnos:

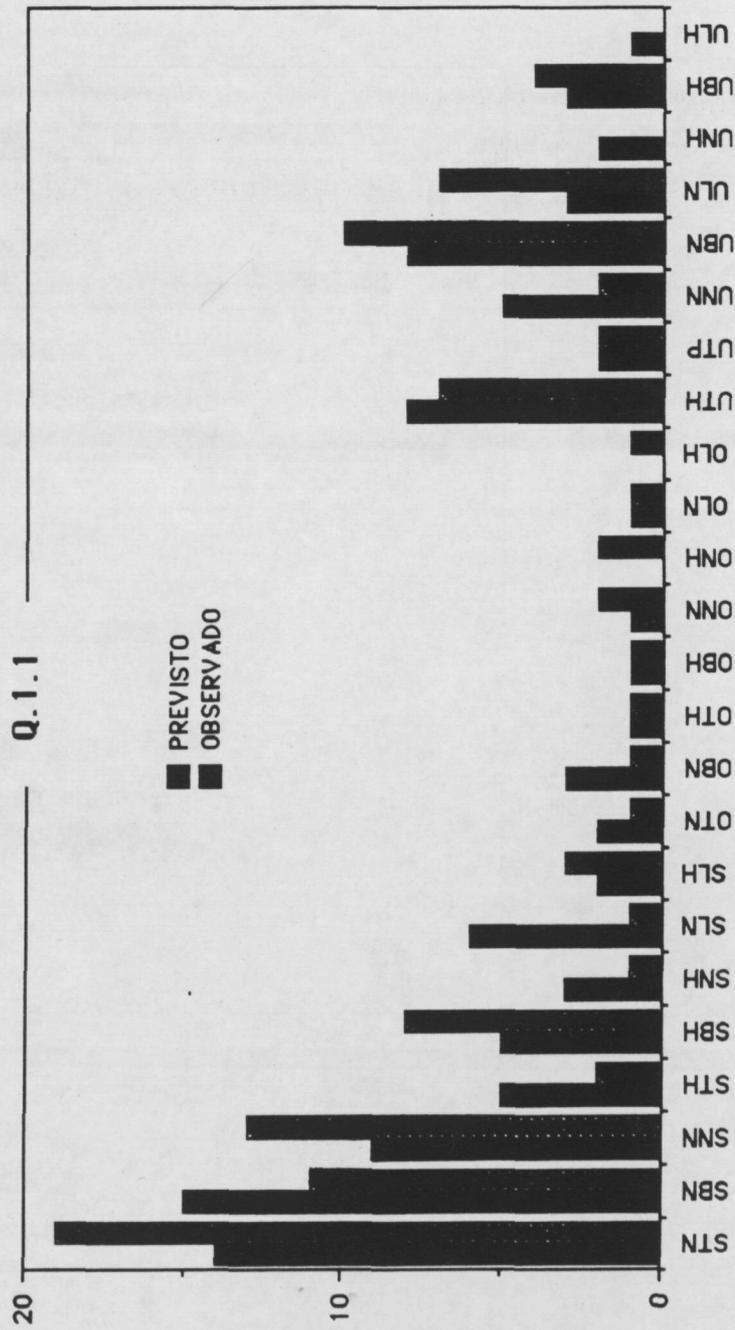
1. Alumnos con una concepción científica sobre la naturaleza de la energía, que no se refieren a la posesión de energía ni a su almacenamiento. Muchos de ellos la consideran necesaria en el mundo de la técnica. La energía se concibe como un concepto.
2. Alumnos con ideas utilitarias sobre la naturaleza de la energía que la consideran un objeto material y por tanto, que se puede poseer y almacenar

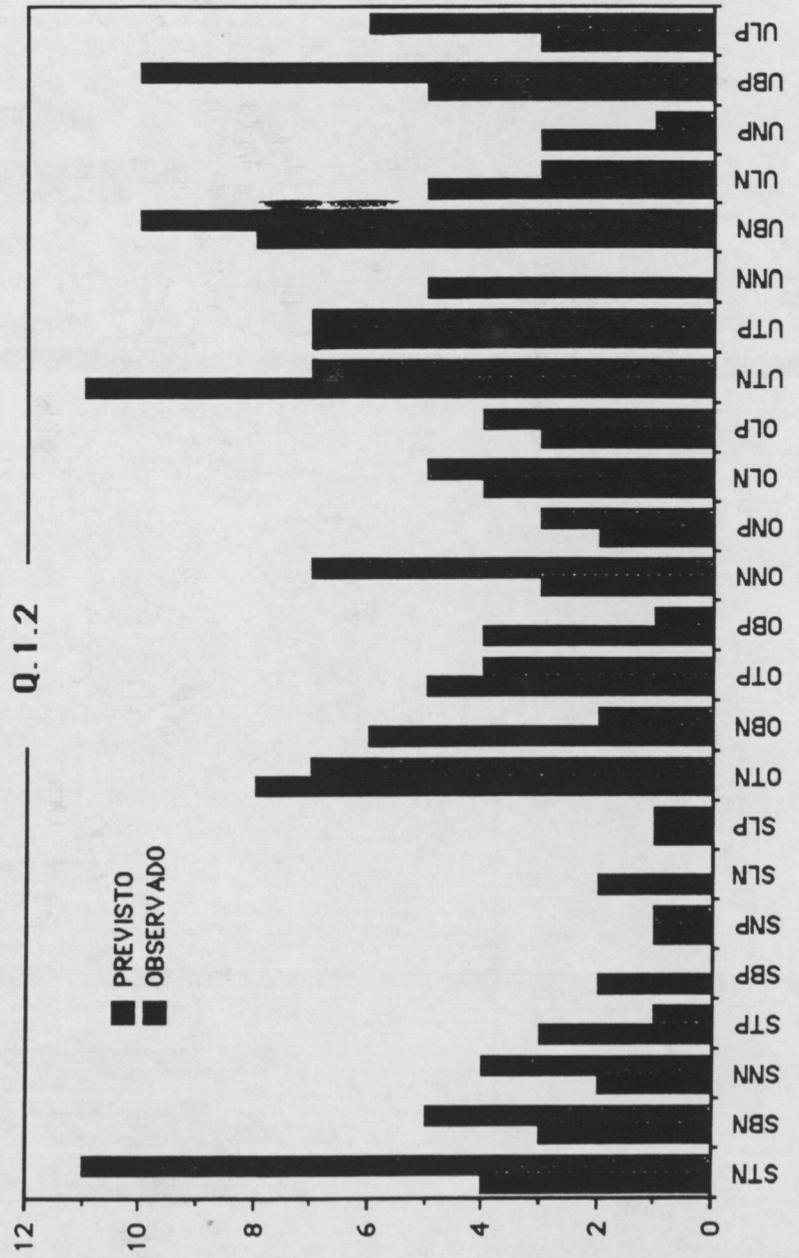
en mayor o menor cantidad. Estos alumnos con frecuencia sólo piensan que la energía es necesaria para las funciones vitales de los seres vivos.

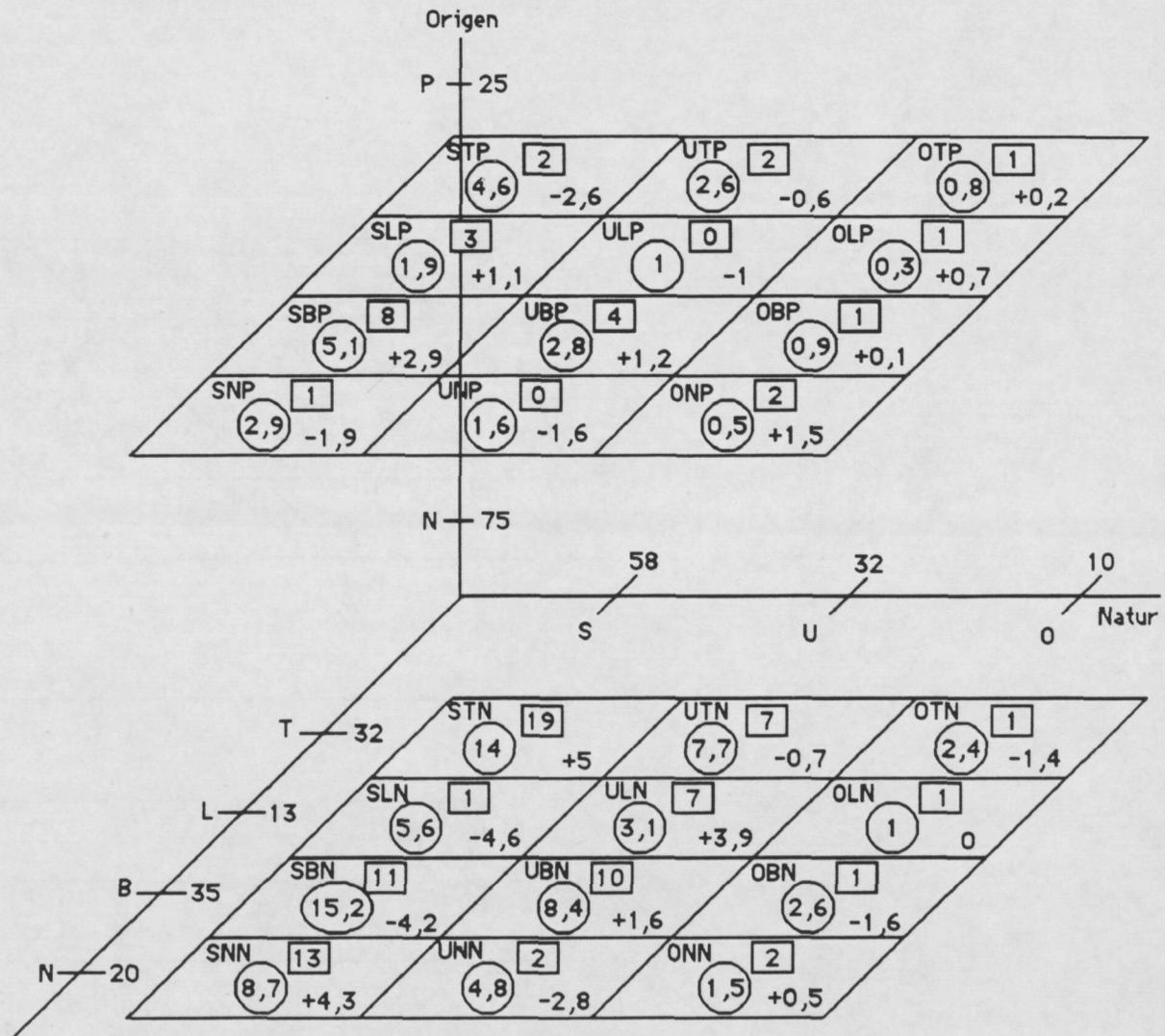
3. Alumnos que no pueden expresar idea alguna sobre la energía.

Constatamos pues que globalmente dos son las concepciones sobre la energía en los alumnos sin formación previa:

Energía es conceptualizada como un concepto - Energía conceptualizada como un objeto







Función

$X = 32,2$

$df = 15$

Las diferencias están al nivel 0.01 de significación

○ Valores previstos
 □ Valores observados

4.11. Conclusiones finales a partir del cuestionario Q-1

1. Los alumnos entre 11 y 13 años que no han tenido instrucción previa acerca de la energía tienen sus propias ideas al respecto. Sería conveniente que tales ideas previas fueran conocidas antes de pasar a enseñárseles la concepción científica puesto que se trata de modificarlas y no sobreponer una concepción a otra.

2. Hemos constatado que si se pregunta a los alumnos por una definición de energía más de la mitad responden diciendo que la energía es una fuerza. Algunos la asocian a conceptos científicos como calor, luz, electricidad, etc. Otro 1/3 de los alumnos no se sienten capaces de dar una definición y explican cambios que, piensan, pueden producirse mediante la energía, es decir, expresan cuál es a su juicio la utilidad de la energía. Para ellos la energía es lo que Ogborn califica de idea "the go of the things", es decir, utilizan el nombre de energía para designar la energía disponible.

3. Esta manera de responder a una cuestión, que pueden concebir como la demanda de una definición, es muy frecuente en nuestros alumnos. Parece también serlo - y podría comprobarse pero no es el objeto de este estudio- en la población en general. Cuando se pregunta a alguien por una definición de un objeto o de un fenómeno y no sabe como responder en términos abstractos, da una descripción de sus atributos, explica su utilidad o las circunstancias en que se evidencia.

Por ello parecía interesante conocer cuales son "los usos" para los que consideran que la energía es necesaria. La mayoría de los alumnos de la muestra han dado su punto de vista al respecto a lo largo de la 1ª o de la 2ª de las cuestiones de Q-1.

Muchos alumnos consideran la energía asociada al mundo de la técnica (máquinas, motores, etc) y un número inferior también lo considera necesario para los seres vivos (funciones vitales, salud, etc)

4. Las ideas que expresaban los alumnos de 11-13 años de nuestra muestra no difieren de las relatadas por J. Solomon en su investigación con niños británicos en parecidas circunstancias.

Se corrobora pues, que los resultados de los estudios realizados con muestras de la misma edad y con similares niveles de enseñanza, son válidos en diferentes países (al menos entre culturas occidentales).

5. Los alumnos de nuestra muestra correspondían a dos escuelas C y O. Hemos encontrado algunas diferencias estadísticamente significativas en algunos aspectos. Para los alumnos de una escuela la asociación entre el mundo de la técnica y el de la energía es más fuerte que para los de la otra. Los primeros corresponden a familias con mayor contacto con el sector industrial. Los de la escuela O con mayor nivel socio-cultural relacionan más frecuentemente la energía con los seres vivos (salud, bienestar, deporte, etc).

6. Los alumnos de la muestra corresponden también a dos cursos distintos de E.G.B. y por tanto a dos edades distintas: 11-12 y 12-13. Entre las respuestas dadas por los alumnos de uno y otro curso no hemos encontrado diferencias, quizás por ser de edades y niveles de formación demasiado similares.

7. El tipo de relación que establecen ante la cuestión primera (Q-1-1) no implica un parecido tipo de asociación en la segunda (Q-1-2). Los alumnos se rigen por diferentes pautas al responder a cuestiones distintas.

8. Es interesante señalar que los alumnos sin enseñanza previa se refieren a lo que hemos denominado "Origen o Procedencia de la energía", es decir, se refieren a la energía como a algo que procede de algún lugar. Así, expresan repetidamente que se puede "tener energía" o que se puede transferir energía de un sitio a otro. Con menos frecuencia hablan de "hacer energía". Podemos inferir que la conservación de la energía no va a ser difícil de asimilar. Pero, también podemos concluir que la idea de energía como fluido o calórico que puede trasvasarse de un lado a otro puede estar fuertemente arraigada.

9. Podemos a la vez destacar que más de la mitad de los alumnos (54%) se refieren en uno u otro momento a lo que hemos denominado "almacenamiento de la energía". En múltiples ocasiones dicen: se puede tener mucha o poca energía, se puede acabar, se puede gastar etc. Podemos pues imaginar que en el pensamiento de los alumnos la energía es algo acumulable. Por lo tanto, según esta concepción cuantificadora de la energía, los alumnos podrán fácilmente pensar en que es posible medir la energía, o mejor dicho, los cambios de energía.

Según tal concepción, también podríamos inferir que su pensamiento no está lejano de considerar a la energía como una propiedad que asociamos a un sistema (al igual que piensan en la salud, la riqueza etc) pero, entonces, no la imaginarían transvasable.

10. Nos hemos preguntado si cierta concepción en un dominio implica cierta concepción en otro (recordemos que los dominios analizados los hemos denominado: Naturaleza de

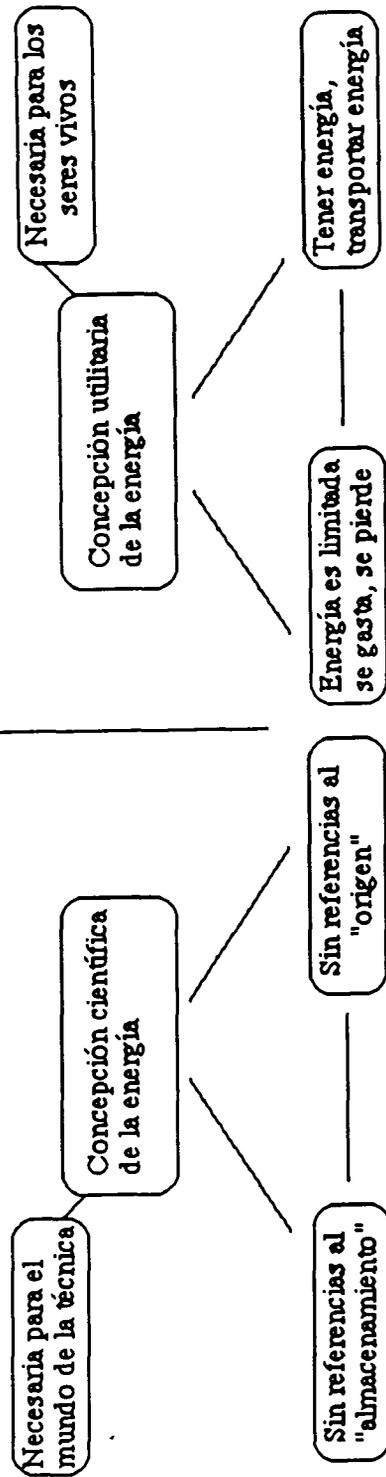
la energía, Funciones de la energía, Origen o Procedencia de la energía, Almacenamiento de la energía).

Hemos podido concluir que: Existe cierta relación entre los alumnos que definen la energía como un concepto científico y los que dan una visión técnica de sus funciones. En el lado opuesto, los alumnos que muestran una visión de la energía centrada en los seres vivos con frecuencia la definen con ideas utilitarias. Los que hablan de la energía relacionándola con su utilidad con frecuencia se refieren a su origen (tener, transferir, hacer energía) y también a sus límites. El siguiente esquema puede mostrar las dos concepciones globales acerca de la energía. Una de ellas es próxima a una consideración de la energía como un concepto mientras que la otra la asocia más bien a un objeto concreto.

11. Entre los alumnos que expresan alguna concepción sobre energía, podemos diferenciar dos grupos los que consideran la energía como un objeto y los que la conciben como un concepto.

Este es el resultado de un análisis exploratorio sobre las concepciones de los alumnos que no han tenido formación previa acerca del concepto de energía, y define la realidad con que contarán los profesores que inicien su enseñanza sobre tal temática.

A partir de estas evidencias experimentales podría realizarse posteriores estudios que dieran cuenta de como los medios de comunicación, los ambientes familiares y la cotidianidad, en general, condicionan el tipo de concepción sobre energía que cada niño se forma.



CUESTIONARIOS Q-2
Tipos I y II

4.12.El cuestionario Q-2 Tipo I

Hemos podido comprobar en las anteriores páginas que la mayoría de los alumnos de 11-13 años atribuyen ciertas funciones a la energía. En particular piensan que se requiere energía para muy diversos procesos técnicos y biológicos.

Para profundizar en ello y conocer mejor a que clase de procesos , actividades o procesos los alumnos piensan que se necesita energía hemos elaborado el cuestionario **Q-2, Tipo I**.

Cada una de las cuestiones plantea la cuestión sobre si para cierto proceso o cambio se requiere energía. Las situaciones se muestran graficamente mediante pequeños pares de dibujos. (Ver Anexo)

Son 9 los ejemplos escogidos. Algunos se refieren a movimiento (cuestiones 3, 4, 6 y 9) ya que queríamos aclarar hasta que punto asocian la energía con el movimiento. Otras tratan de conocer como relacionan la energía con los seres vivos (cuestiones 1 y 8) o con la electricidad (cuestiones 2 y 5) o con el calor (cuestión 7) Todas ellas están formuladas en un contexto cotidiano como corresponde a alumnos que no han recibido enseñanza previa y que por tanto sus concepciones están extraídas de la vida diaria

Este cuestionario Q-2 Tipo I se ha administrado a una parte de los 100 alumnos entre 11 y 13 años. No se les dieron las mismas cuestiones a todos como veremos.

Las cuestiones son:

"¿Se necesita energía para...."

- 1-El crecimiento de una planta?
- 2-Encender una lámpara?
- 3-Subir un libro desde una mesa a un estante?
- 4-Chutar una pelota?
- 5-Sacar las arrugas de una camisa?
- 6-Acelerar un coche?
- 7-Freir un huevo?
- 8-El crecimiento de un niño?

9-Ordenar unos cazos de cocina ?

La tabla muestra cual es la respuesta de los niños y el tamaño de la muestra para cada cuestión.

Cuestión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Respuesta SI	27	33	21	51	26	29	17	19	14
Respuesta NO	4	0	11	4	6	4	2	1	4
Sin respuesta	2	0	1	0	1	0	1	0	2
Número alumnos	33	33	33	55	33	33	20	20	20

La mayoría de los alumnos responden afirmativamente a todas las cuestiones excepto a la 3. Cuando pueden explicar su respuesta en términos de movimiento, electricidad, "energía del cuerpo", combustibles, sol o fuego su respuesta suele ser afirmativa. De todos modos los argumentos para su respuesta pueden ser varios y de lo más insospechado.

4.13. Descripción de los resultados a las cuestiones de O-2 Tipo I

Cuestión 1

¿Para que la planta crezca se necesita energía?

De los 33 alumnos a los que se formuló la cuestión, 27 responden afirmativamente, 4 negativamente y 2 no contestan.

Los argumentos más frecuentes se refieren a que el Sol y los alimentos son fuentes de energía.

Tres de las reespuestas negativas aluden a que lo que necesitan las plantas para crecer es agua y no energía.

Cuestión 2

¿Se necesita energía para que una lámpara alumbre?

De los 33 alumnos todos responden afirmativamente. La energía eléctrica es muy popular.

Las explicaciones más socorridas (20/33) son: La electricidad es energía o que el enchufar es recibir energía eléctrica

Para otros es necesario energía para que una lámpara funcione o bien es necesario para que podamos ver.

Para 2, la respuesta afirmativa proviene de que la acción humana de enchufar requiere energía

Cuestión 3

Para que un libro pase de estar sobre una mesa a lo alto de un estante, se requiere energía? ¿Porqué?

De los 33 alumnos, 21 dicen Sí, 11 no y 1 no contesta.

La idea más usual a la que aluden es la de que se necesita energía para hacer algún trabajo "el esfuerzo", "la fuerza", "el movimiento de los brazos", "los músculos", "la energía humana" se esgrimen frecuentemente.

De los 21, 18 sienten la necesidad de referirse a la "energía del cuerpo", tienen que pensar en la persona que ha cambiado el libro de posición.

Es decir, buscan un agente causal para responder afirmativamente.

Se menciona en 6 casos la fuerza necesaria para levantar el libro. Es utilizada también para justificar las respuestas negativas. "No es necesario energía, lo que se necesita es fuerza" dice un alumno que antes había definido energía como una "fuerza para...". También se menciona la fuerza para decir: Creo que no se necesita energía porque lo hace (de levantar el libro) la fuerza de la gravedad que tiene la Tierra"

Encontramos también el punto de vista antropocéntrico o centrado sobre los seres vivos: "La energía no es necesaria porque el libro no puede moverse por sí mismo" o en sentido contrario: "Sin energía no se podría mover un cuerpo muerto".

another says: "Energy is not necessary, the hand is it" (56). That is, an external agent is necessary to answer affirmatively.

Para algunos la energía *se produce* al realizar un esfuerzo o hacer una fuerza. Esta idea aparece de forma similar en otras cuestiones

Cuestión 4

¿Chutar una pelota requiere energía?

De 55 alumnos 51 responden afirmativamente como era de esperar y 4 negativamente.

En 27 casos relacionan el chutar la pelota con la fuerza necesaria para ello.

Podría pensarse que sus respuestas están en la línea de que para variar la energía cinética de la pelota se necesita energía pero no es así. 15 alumnos piensan en el movimiento necesario de las piernas o los pies. Así: *Sí, porque para levantar la pierna y chutar la pelota con el pie tienes que hacer energía*" pero sólo uno se refiere al movimiento de la pelota y aún desde un punto de vista animista o antropocéntrico: "La pelota no se mueve por sí sola, para moverse se necesita energía humana".

Las escasas respuestas negativas van en la misma dirección: "No se necesita energía, los músculos te ayudan" o bien "No, la energía la necesitamos nosotros para tener la fuerza para chutar la pelota"

Por tanto, muchos de los alumnos responden con una visión antropocéntrica y parecen más inclinados a pensar en la fuerza necesaria para poner en movimiento a la pelota que en modificar su energía cinética. Parece que el cambio de momentum es más fácil de comprender que el de energía cinética. A niveles superiores, en los cursos de Física, constatamos que es más probable que los alumnos resuelvan problemas a partir de los conceptos de fuerza y movimiento que a partir de cambios de energía.

Desde otro punto de vista, detectamos que está arraigada cierta concepción según la que es necesaria una constante transferencia de energía para que sea posible el movimiento. La idea de que sin fuerza es imposible el movimiento ya la encontramos en estos niveles. Después observaremos cuán resistentes son los alumnos a aceptar en profundidad la 1ª Ley de Newton.

Otra asociación es usual: Movimiento- Pérdida de energía- Cansancio. La energía es algo que puede gastarse, perderse, recuperarse con los alimentos, etc. Es interesante destacar que en algunos casos *"se pierde energía al moverse"* *"se quema con el esfuerzo"* mientras que en otros: *"se produce al moverse"* y en otros *"el movimiento o el deporte tienen energía"*. Quizás tienen pues cierta preconcepción sobre degradación de la energía pero están lejos de imaginar su conservación. Además en cada una de las respuestas intuimos una referencia a algún anuncio publicitario.

Cuestión 5

Para que la camisa ya no esté arrugada ¿se precisa energía?

De los 33 alumnos, 26 responden afirmativamente y 6 negativamente.

Podemos clasificar las respuestas afirmativas.

19 consideran que la energía es necesaria expresando la transferencia de energía asociada al planchar, a la electricidad o al calor (¿concepto de energía disponible?)

Otros 7 alumnos que responden afirmativamente la relacionan con el esfuerzo humano de planchar. *"Si no tuviéramos energía la plancha no podría planchar la camisa"* o *"Se necesita energía para mover la plancha"*. De nuevo pues, el punto de vista antropocéntrico. También está presente en las respuestas negativas: *"No se necesita energía, lo que se necesita es fuerza para planchar"*

Al igual que en cuestiones anteriores, dos alumnos consideran que no es necesaria porque *"la camisa no es un ser vivo"* o *"no puede moverse por sí sola"*.

En síntesis, encontramos muchos alumnos que piensan en la energía disponible que pueden proporcionar la electricidad o el calor de la plancha y muchos otros, centrados en el punto de vista centrado en los seres vivos y en particular el punto de vista antropocéntrico.

Cuestión 6

¿Para que el coche pueda ir más deprisa ha sido necesario aportar energía? ¿Por qué?

De las 33 respuestas, 29 son afirmativas y 4 negativas.

La necesidad de energía se asocia con la gasolina en 9 casos, y también en 2 de las respuestas negativas: *"No es necesario energía, lo que se necesita es gasolina"*

Como era de preveer, después de anteriores cuestiones, se considera que el coche necesita energía *"para funcionar", "para moverse", "para correr", etc*

El punto de vista antropocéntrico sale también a la luz en esta cuestión: Se requiere energía porque hay que *"apretar el embrague", "pisar el acelerador", etc.*

Es interesante señalar que aquí de nuevo detectamos la búsqueda del agente causal que acelera el coche. La cuestión no sugiere nada pero los alumnos "inventan" el responsable de la aceleración del coche. Así mencionan el motor, la batería, los cilindros, los pistones y, por descontado, la gasolina. *"El motor del coche le da la energía para correr más", "el coche funciona gracias a la batería que está llena de energía", "la gasolina que es como una energía lo hace funcionar", etc.*

Estas dos últimas frases sugieren que los alumnos están pensando en la energía como una sustancia (¿un fluido?) del que se puede estar más o menos lleno. Podemos aún mostrar más claramente esta concepción en: *"La gasolina se gasta más deprisa y hay que poner más"*. Alguna frase similar encontraremos también en los alumnos universitarios.

Por otro lado, sólo 7 de los 33 niños toman en consideración que el coche ya se estaba moviendo, es decir que la pregunta se refiere a "ir más deprisa". ¿Es un problema del cuestionario o se trata de no diferenciar entre velocidad y aceleración?. No podemos averiguarlo con los datos actuales.

Cuestión 7

¿Para que un huevo fresco pase a estar frito se necesita energía?

Preguntado a 20 niños, 17 de los cuales responden afirmativamente y para 10 de ellos esta energía está asociada al fuego o al calor. *"El fuego da energía", "el gas butano es energía"*

También está presente el punto de vista antropocéntrico en estas respuestas. Se necesita energía para la acción de freír o de encender el fuego: *"Para encender la cocina", "Para hacer fuego", etc.*

Es interesante destacar que realmente estamos ante un grupo de niños tan urbanos que alguno puede decir: *"se necesita para la máquina donde se hacen los huevos..."*

Cuestión 8

¿Para crecer y hacerse mayor se necesita energía?

De los 20 alumnos, 19 responden afirmativamente como era de esperar aunque los argumentos son bien distintos entre unos y otros.

La energía se asocia con los alimentos y con la nutrición en 12 casos: *"Cuando comes coges energía para crecer" "La alimentación es nuestra energía"*

Algunos expresan claramente que la energía es alguna cosa que se incorpora a nuestro cuerpo. El vocabulario familiar es el único que han podido aprender los alumnos de estas edades. *"Si nuestro cuerpo no tuviera energía estaríamos aburridos"* o bien *"no podríamos movernos"* o bien *"Cuando eres pequeño tienes más energía y cuando te haces mayor tienes menos"*. Observamos pues que los alumnos utilizan el significado de la expresión familiar "ser enérgico".

Algunas respuestas evidencian el recuento que los niños hacen de una cantidad llamada energía: *"hacer deporte produce energía", "la acción de comer gasta energía"*

Cuestión 9

¿Para ordenar estas ollas estos cazos de cocina se necesita energía.?

Responden 20 alumnos 14 de los cuales consideran que se precisa energía, si bien las razones que aducen son distintas: el gasto de "energía humana", el esfuerzo o la fuerza, el movimiento de nuestro cuerpo.

Algunos consideran que ordenar unos cazos es muy fácil y por tanto no requiere energía.
"No cansa" o "no requiere esfuerzo"

Las ideas mas usuales que encontramos son: la energía es algo que puede gastarse o que nuestros cuerpos tienen.

4.14. Síntesis de los resultados del cuestionario O-2. Tipo I

En síntesis, las concepciones que expresan los alumnos de 11-13 años sin instrucción previa, son:

La energía es necesaria

- si entran en juego alguno de los recursos energéticos: sol, alimentos, butano, gasolina, electricidad etc)
- si se requiere algún esfuerzo de alguna persona: apretar el acelerador, encender la cocina, hacer deporte etc
- si hay que moverse o desplazarse una persona (la "energía humana", la "energía de nuestro cuerpo")
- si hay que poner algo en funcionamiento o realizar algún trabajo.
- para "tener" fuerza o para crecer.

No se precisa energía:

- si un objeto no tiene que moverse
- si ya se está ejerciendo alguna fuerza.
- para los objetos inanimados porque no pueden moverse por sí solos.
- si la tarea a realizar se juzga fácil o que no provoca cansancio.
- si ya se requiere algún combustible

Se hace energía

- al ejercer una fuerza o realizar algún esfuerzo.
- al moverse
- al realizar un deporte.

Se pierde energía

- al realizar algunas actividades como moverse, comer, hacer deporte
- al envejecer

CUESTIONARIO Q-2 TIPO II

4.15. Cuestionario Q-2. Tipo II

Un aspecto que quisiéramos señalar es que, con frecuencia, los alumnos hablan de "tener energía". Pero, no está claro que poseer tal cualidad signifique para ellos tener una propiedad que se asocia a un sistema con ciertos parámetros. Por ello, hemos aplicado un nuevo cuestionario **Q-2 Tipo II**. Contiene 6 cuestiones abiertas en todas las cuales se pregunta si cierto objeto o cierto material tiene energía. Se han analizado con mayor profundidad las cuestiones relacionadas con la energía potencial.

El cuestionario se ha administrado a una parte de la muestra de los 100 alumnos de las Escuelas C y O antes mencionadas.

Las cuestiones son:

¿Tiene energía.....?"

1. Un coche de juguete al que se le da cuerda?
2. Una maceta con flores en un balcón?
3. La pólvora?
4. Una viga colgada de una grúa?
5. Una bala disparada por una pistola?
6. El butano?

Podemos observar en la tabla el número de alumnos que responden a cada una de las cuestiones.

Cuestión	1	2	3	4	5	6
Nº de alumnos						
con respuesta SI	18	17	7	2	16	22
con respuesta NO	8	28	9	18	10	4
sin respuesta	0	1	4	0	0	0
Total de la muestra	26	46	20	20	26	26

El número de respuestas afirmativas y negativas es similar en los casos 1 y 5 en que los alumnos pueden asociar energía a objetos por su movimiento o su posibilidad de movimiento (en este caso se trataría de energía cinética y de energía potencial elástica). La asociación de energía en virtud de la posición en un campo gravitatorio, no es imaginada por la mayoría de los alumnos. Así observamos que la mayoría responden negativamente a las cuestiones 2 y 4.

La anterior tabla en porcentajes:

Cuestión	1	2	3	4	5	6
Sí	69%	37%	35%	10%	61%	84%
No	31%	61%	45%	90%	39%	16%
Sin respuesta	0%	2%	20%	0%	0%	0%

De todos modos, estos resultados son muy pobres y confusos sin un análisis cualitativo de cada una de las respuestas. Pasamos a describirlo.

4.16.Descripción de los resultados a las cuestiones de O-2, tipo II

Cuestión 1

Un coche de juguete de los que se da cuerda para que corran ¿tiene energía? Explica tu respuesta.

Cuestión respondida por 26 alumnos, 18 de los cuales responden afirmativamente y 8 negativamente.

Sólo 9 se refieren a la cuerda pero no siempre suponiendo que podemos asociarle cierta energía por estar tensa. *"Damos cuerda y si el coche no se mueve quiere decir que el coche no tiene energía y si se mueve significa que tiene energía"*. La perspectiva desde la que se responde depende del movimiento.

El caso opuesto sería el de los que vislumbran, de algún modo, la energía potencial elástica *"Dando cuerda lo cargas (al coche) con energía y se mueve"*

Para decidir si un objeto tiene o no energía he observado ciertos tipos de razonamiento Hay ciertos argumentos que utilizan los alumnos en varias de las preguntas relacionadas con la energía potencial. Veámoslas aplicadas a esta cuestión 1:

<u>Argumento I</u>	El coche tiene energía porque se la da el muelle
Potencialidad del muelle	7/26 alumnos utilizan este tipo de razonamiento. Consideran que la cuerda es lo que proporciona energía para poner en acción al coche. Sólo en un caso está claramente intuida la noción de energía potencial elástica.

<u>Argumento II</u>	El coche tiene energía porque se mueve o funciona
Movimiento o funcionamiento	10/26 alumnos utilizan este tipo de razonamiento.

Otros 9 alumnos no responden o no dan ninguna explicación

Es interesante destacar que para algunos la energía se puede producir: *"Se hace energía cuando das cuerda con los dedos"*

Cuestión 5.

Una bala disparada por una pistola ¿tiene energía? ¿Por qué?

Se planteó la cuestión a los mismos alumnos que respondieron a la anterior cuestión. y está también destinada a conocer las preconcepciones de los alumnos sobre energía potencial elástica.

De 26 alumnos, 16 respondieron afirmativamente y 10 negativamente. Hay que destacar la cifra de respuestas negativas en una cuestión en que era fácil asociar energía a la bala en virtud de su movimiento. De los 26 alumnos sólo 5 argumentan que la bala tiene energía debido a su movimiento.

Además, al comparar las respuestas dadas por cada alumno en cuestiones diferentes observamos que no siempre utiliza los mismos argumentos. Así mientras un alumno en la cuestión 1 dice que *"El coche tiene energía porque puede moverse y desplazarse"* en la cuestión 5 argumenta que *"la bala no tiene energía porque lo que tiene energía es la pistola para disparar, pero la bala no tiene"*.

Por el tipo de respuesta a la cuestión 1 parecería que intuye el concepto de energía cinética, pero al enfrentarse a la cuestión 5 se "olvida" del movimiento de la bala. ¿Qué ha cambiado? Quizás es el gran momentum de la bala lo que esconde su movimiento. Se encuentran algunas pistas para pensar en ello, encontramos repetidas referencias a *"la fuerza que la bala tiene"*, el *"impulso"*, el *"impetu"*, el *"empuje"*. También alguna frase: *"La bala sale disparada con fuerza pero la fuerza no es energía"* La palabra fuerza parece significar cantidad de movimiento.

Otras respuestas muestran que los alumnos están pensando más en la pistola que en la propia bala. *"Cuando aprietas la pistola sale la energía"*.

Encontramos también la preconcepción según la que una fuerza es algo incorporado al interior de los objetos en movimiento y que puede gastarse. Un alumno dice: *"La pistola ha dado un gran empuje pero cuando la fuerza se acaba la bala cae"*

A la vez parece que los alumnos asocian energía con mayor frecuencia con los objetos animados o con los seres vivos que a los inertes. *"La bala la disparan pero no se dispara ella misma"*, *"No tiene energía porque la bala es una cosa sólida...y no tiene nada ...y además no tiene ningún beneficio"* o con objetos que pueden funcionar por sí mismos: *"La bala no tiene energía porque no pone en marcha nada"*, *"La bala tiene energía porque"*

puede hacer una fuerza para empujar o agujerear un cuerpo" El argumento "utilitario aparece en otras ocasiones, como veremos.

Hemos clasificado los argumentos esgrimidos en esta cuestión 5 utilizando los mismos criterios que en la cuestión 1. Esto nos permitirá comparar las respuestas dadas en ambas.

Argumento I
Potencialidad del gatillo

La bala tiene energía proporcionada por la pistola o el gatillo
6/26 de los alumnos dan este tipo de explicación.
Frase de este tipo es: "*Porque tiene una fuerza que la ha provocado un muelle que está dentro de la pistola*". Cierta idea de energía potencial elástica es intuitiva, a pesar de usarse la palabra fuerza

Argumento II
Movimiento bala

La bala tiene energía porque se mueve o pone algo en acción
10/26 de los alumnos dan este tipo de argumento. Hemos ya mostrado algunos ejemplos.

Otros 10/26 no dan explicación alguna o responden con argumentos distintos a los I y II anteriores

Para saber si los alumnos suelen utilizar el mismo tipo de argumentos en ambas cuestiones, se ha elaborado la siguiente tabla de contingencia:

Cuestión 5-Bala

		Arg I	Arg II	Otr	
Cuestión 1-Coche	Arg I	3	3	1	7
	Arg II	3	5	2	10
	Otr	0	2	7	9
		6	10	10	26

El valor de $c^2 = 9.8$ es demasiado pequeño para poder decir que hay alguna relación entre los argumentos esgrimidos en la cuestión 1 y los dados en la cuestión 5. Sólo 8 alumnos de los 26 repiten el razonamiento en las dos cuestiones: 3 utilizan el argumento relacionado con la energía potencial elástica y 5 el argumento II

Cuestión 6.

El butano ¿tiene energía? ¿Como podrías justificarlo?

Las respuestas a esta cuestión pueden también ser clasificadas criterios paralelos a los establecidos para las dos cuestiones anteriores. Los 26 alumnos que han respondido a esta cuestión son los mismos que los 26 de las anteriores cuestiones.

En este caso 22 alumnos responden afirmativamente diciendo que el butano tiene energía. Las razones que alegan con frecuencia son: el butano es capaz de hacer funcionar estufas, hornos, cocinas, etc.

También en varias respuestas aparece cierta preconcepción de energía interna almacenada y liberada durante la combustión. Encontramos varios alumnos que expresan: la energía del butano se obtiene cuando se enciende y se quema.

Los criterios de clasificación son pues:

<u>Argumento I:</u>	El butano tiene energía porque al quemar puede liberar energía
Potencialidad	8 alumnos de 26 dan este argumento. Uno de ellos dice: " <i>el butano tiene energía química</i> ", aunque no sepamos qué es lo que imagina, es una respuesta sorprendente si no dejamos de tener presente que estos alumnos no han recibido enseñanza alguna sobre energía. No sabemos tampoco que es lo piensan acerca de la energía liberada en la combustión: ¿consideran realmente que la energía se hace durante o por medio de la combustión, como dicen? ¿Consideran que el fuego o la llama son energía? A pesar de estas dudas, hemos codificado en el grupo I los que dan como argumento de su respuesta afirmativa el que el butano se quema, los que, en definitiva, exhiben una idea próxima a lo podría ser energía interna del combustible.
<u>Argumento II</u>	El butano tiene energía porque puede hacer funcionar o poner en marcha alguna cosa.
Funcionamiento	Este tipo de razonamiento lo hemos encontrado en 9/26 alumnos.

Otros 9/26 alumnos dan otro tipo de explicaciones o no dan ninguna

Es interesante comparar las razones a las que se apela en esta cuestión con las dadas en las dos cuestiones anteriores.

		Cuestión 1-Coche			
		Arg I	Arg II	Otr	
Cuestión 6- Butano	Arg I	3	5	0	8
	Arg II	2	4	3	9
	Otr	2	1	6	9
		7	10	9	26

$$\chi^2 = 9.1$$

		Cuestión 5-Bala			
		Arg I	Arg II	Otr	
Cuestión 6- Butano	Arg I	4	4	0	8
	Arg II	1	4	4	9
	Otr	1	2	6	9
		6	10	10	26

$$\chi^2 = 7.3$$

El valor de chi-cuadrado es demasiado pequeño, para el número de grados de libertad, en ambos casos. No podemos decir con un nivel de confianza al menos de un 95% que las respuestas en las tres cuestiones estén relacionadas. Los alumnos responden con argumentos de diferente tipo en una u otra cuestión. Sólo tres alumnos (nº 97 y 99) de los 26 mantienen la idea de potencialidad almacenada en las tres cuestiones. Algunos utilizan esta idea próxima a energía potencial en alguna de las cuestiones pero no en las otras. También dos alumnos (nº 63 y 98) se sirven del mismo argumento II para justificar el poder asignar energía al coche, bala y butano.

Hay 13/26 alumnos (50%) que utilizan al menos una vez el argumento I que guarda relación con una idea de energía almacenada.

Otros 18/26 (70%) utilizan al menos una vez el argumento II: algo tiene energía si se mueve o puede hacer funcionar alguna cosa.

Sólo 6/26 (23%) responde con argumentos que no se pueden catalogar como el I ni el II en ninguna de las frases. Esto parece indicar que los argumentos I y II son muy comunes en los alumnos sin instrucción previa.

Por tanto, la definición de Rogers según la que: "*Energía es algo implicado en ciertos trabajos útiles que proporcionan los combustibles*" conecta muy bien con las ideas previas

de los alumnos. Una cuestión puede plantearse: ¿conocen los niños la concepción de energía libre a partir de su experiencia cotidiana?

Cuestión 3

¿La pólvora tiene energía? Justifica tu respuesta

De 20 alumnos, 7 responden afirmativamente, 9 negativamente y 4 dicen no saberlo.

Es muy similar el número de respuestas afirmativas y negativas. En muchas de las respuestas manifiestan su inseguridad: *"No lo sé cierto pero..."*

El tipo de argumentaciones son similares a las referidas en otras cuestiones. "Algo tiene energía si puede moverse o hacer funcionar alguna cosa" es un tipo de razonamiento muy usual. Por ejemplo, *"Sí, tiene, porque la energía de la pólvora mueve la bala"*

Las respuestas negativas provienen de los alumnos que no relacionan los efectos de la explosión con un provocar algo, mover algo, hacer funcionar alguna cosa, etc.: *"La pólvora tiene una materia explosiva pero no energía"* o bien *"La pólvora hace explotar y no necesita energía"*

A partir de las anteriores cuestiones parecía que los alumnos piensan que los combustibles tienen energía en sí mismos, pero en el caso de la pólvora no vemos que sea realmente así. Cuando los alumnos asocian energía a los combustibles lo hacen pensando en los efectos que producen y que ellos conocen.

En la cuestión antes mencionada del butano, podemos arguir que los alumnos conocen sus aplicaciones pero ante la pólvora están dudosos porque no conocen los efectos útiles que puede provocar.

Desdichadamente, los dos grupos de alumnos que responden a las dos cuestiones no son los mismos con lo que no podemos comparar más detalladamente.

Una de las preguntas que también nos formulamos en este caso es si los alumnos, que responden afirmativamente, piensan que la pólvora tiene cierta energía que se libera en la explosión o bien si consideran que se produce durante la explosión. Algún alumno explicita esta última idea: *"la pólvora en el barril no tiene energía pero cuando explota si la tiene"*. En el caso del butano leíamos: *"...con la llama de la estufa el butano quema y hace energía"* o *"si lo enciendes puedes hacer energía"*. Una idea de cierta energía almacenable y liberable sólo aparece en tres casos de forma bastante explícita: *"Sí, tiene porque sino no explotaría"*

En síntesis, los niños consideran que los combustibles y similares recursos energéticos tienen energía porque pueden poner algo en funcionamiento y conocen lo que es. En este caso de la pólvora se sienten inseguros porque por un lado desconocen posibles aplicaciones pero por otro lado tienen la intuición de que la explosión puede ser "algo". Un alumno responde textualmente *"Sí y no, porque pienso que la pólvora tiene energía ya que se enciende pero también puede ser que no porque la pólvora no se mueve"*

Cuestión 2

Una maceta con flores que está arriba en un balcón tiene energía? ¿Por qué?

De 46 alumnos, 17 responden afirmativamente, 28 negativamente y 1 no responde. De las 17 respuestas positivas ninguna era justificada por alguna preconcepción de energía potencial gravitatoria. El argumento más frecuente 10/17 es que la maceta en el balcón tiene energía porque las flores son seres vivos que crecen. Podría pensarse que la pregunta está mal formulada y que influye en la respuesta pero, hay 28/46 alumnos que han respondido negativamente y 16 de ellos distinguen entre los dos objetos: la maceta y las flores. *"Las flores quizás tienen energía pero la maceta no"* *"La maceta no tiene energía, las flores supongo que sí porque tienen vida"*.

Varias de las respuestas negativas las justifican diciendo que la maceta no se mueve. Con cierta frecuencia encontramos también los argumentos utilitaristas: *"No tiene porque no da nada"* *Tiene porque las flores la necesitan para crecer y vivir"*

En síntesis, hay 12/46 alumnos que argumentan con un punto de vista utilitario y otros 16/46 con un punto de vista centrado en el mundo de los seres vivos. Hay también alumnos que no responden o que relacionan la cuestión con la corriente eléctrica *"No tienen ningún tipo de corriente"*, etc. Lo que si podemos destacar es que la idea de energía potencial gravitatoria no es intuitiva ni lejanamente por ninguno de estos alumnos de 11 a 13 años.

Cuestión 4

Una viga está colgada de una grúa situada en un edificio que se está construyendo. ¿Tiene energía? ¿Por qué?

De los 20 alumnos a los que se administró la cuestión, 18 respondieron negativamente y 2 positivamente.

Las respuestas afirmativas son justificadas por razones bien diferentes de las esperadas. Una dice: "La viga tiene energía porque el sol la calienta", La otra asimila una viga a una pila eléctrica o un acumulador: "Tiene porque si la enchufáramos con un cable eléctrico y una bombilla, la bombilla se encendería con lo que indicaría que la viga está cargada" Otros alumnos se sirven también de cierta idea de electricidad para explicar su respuesta negativa: "No tiene porque no hay corriente".

Otras respuestas negativas se justifican con argumentos análogos a los encontrados en las cuestiones anteriores. La viga no tiene energía porque *"no se mueve"*, *"es inactiva"*, *"no tiene vida"*, *"está quieta"*, etc. No moverse y no tener vida son argumentos en 7 de los 10 casos para decir que no tiene energía.

Uno de los argumentos utilitaristas queda plasmado en esta respuesta: *"La viga no tiene energía porque no sirve para nada, sólo para aguantar algo pero no da nada"*.

De nuevo pues, encontramos la idea de que un objeto tiene energía si es capaz de hacer algo a otros. La definición del proyecto SCIS va también en tal dirección: *"Energía es la capacidad de los sistemas materiales de llevar a cabo cambios en sí mismos o en su entorno."*

Pero, los supuestos "cambios" que la viga puede provocar en su entorno si cae no están presentes en los razonamientos de los niños.

En cualquier caso, queda claro que los alumnos no entreveen la idea de energía potencial gravitatoria.

Intentemos saber cuán persistentes son los alumnos en sus razonamientos. Comparemos ahora las respuestas de los alumnos a las dos últimas cuestiones: la maceta en el balcón y la viga colgada de una grúa. Hemos categorizado las respuestas según expliquen un argumento utilitarista, uno centrado en los seres vivos (tener vida, estar quieto etc) o bien no respondan o lo hagan de forma diversa

Cuestión 2 - Maceta con flores

	Centrado en seres vivos	Utilitarista	Otros		
Cuestion 4 - Viga	Centrado en seres vivos	5	0	3	8
	Utilitarista	0	2	3	5
	Otros	2	0	5	7
		7	2	11	20

En este caso $\chi^2 = 5.2$. que para 4 grados de libertad es un valor insuficiente. No hay correlación.

En esta caso observamos que 10/20 utilizan al menos una vez el punto de vista que hemos denominado "centrado en los seres vivos" que casi podríamos llamar punto de vista antropocéntrico. Otros 5/20 utilizan el argumento utilitarista en alguna de las dos cuestiones pero muchos de ellos no repiten categoría.

Al igual que hemos comprobado en anteriores ocasiones, los argumentos utilizados por cada alumno para cuestiones distintas son distintas.

4.17. Síntesis de los resultados del cuestionario Q-2, tipo II

Cuestiones Q-2 tipo II: "¿Tiene energía.....tal.... objeto?"

El número de respuestas afirmativas es más similar a la de respuestas negativas que en el cuestionario Q-2 Tipo I. Allí, la mayoría de los alumnos decían que era necesario energía para cada uno de los cambios sobre los que se preguntaba. Por el contrario, en las respuestas al cuestionario Q-2 Tipo II, son bastante frecuentes las respuestas negativas. En algunas situaciones (viga, maceta) la mayoría de los alumnos no saben como asociarles energía y consideran que no tienen

Para responder afirmativamente si "un objeto tiene energía" suelen buscar un agente causal, es decir, algo o alguien que sea el responsable de que tal objeto tenga energía. Agentes causales son, por ejemplo, el cuerpo humano, los seres vivos, la corriente eléctrica, los combustibles y otros recursos energéticos a los que suelen asociar energía. Los alumnos piensan que, gracias al agente causal, un objeto puede producir algún cambio, algún trabajo. puede moverse, puede quemar, etc. Parecen estar utilizando el concepto de energía libre en lugar del concepto de energía.

Para el caso de la viga colgada no encuentran agente causal alguno y su respuesta es negativa. Para el caso de la maceta con flores se refugian en la "energía de las flores" para poder responder positivamente; los flores son seres vivos y por tanto agentes causales. Para la cuestión 6 encuentran un agente causal claro: un combustible. Así pues "*el butano tiene energía*" para la gran mayoría de los encuestados.

Los objetos concretos a que se refieren estas cuestiones Q-2 Tipo II no son seres vivos y así el recurso a la *energía humana* y la *energía de los seres vivos* es menos fácil de emplear. Si fallan estos dos posibles argumentos, para decidir si un objeto tiene energía buscan algo que pueda moverse o que funcione gracias a tal objeto. Si encuentran algo que funcione o se mueva o que cambie por la mediación del objeto deciden que éste tiene energía. Parecen pues tener cierta preconcepción de energía libre o de energía disponible.

Este razonamiento está en la línea de lo que he denominado punto de vista utilitarista. Si los alumnos conciben que puede sacarse algún provecho o alguna ventaja del objeto cuestionado, responden afirmativamente. Si el objeto no es útil (o es inactivo, cuando utilizan la visión antropocéntrica) responden negativamente.

El agente causal que los alumnos buscan es algo que pueda realizar trabajo, es decir, algo con energía disponible pero raramente se refieren al calor. Sólo una de entre todas las frases da cuenta de el calor que se puede transferir. Dice "*la bala no tiene energía porque si tuviera quemaría algo*".

Argumentos sobre si el objeto (maceta en el balcón, viga colgada) puede producir alguna deformación (romper, agujerear etc) no aparecen en ningún caso. Quizás el problema no es pensar en deformaciones sino en razonar sobre situaciones hipotéticas. Los niños ven con mayor claridad el presente que el futuro o el condicional. En cualquier caso, la idea de energía potencial gravitatoria está lejos de su pensamiento. En cambio hay algunos indicios de imaginar otros tipos de energía potencial o de energía almacenada especialmente cuando conocen bien las aplicaciones. (energía potencial elástica, energía química)

Si bien los razonamientos citados proceden de las respuestas de los alumnos, ello no indica que cada uno utilice un determinado tipo de argumentos. Podemos más bien decir lo contrario: los alumnos resuelven de distinta forma problemas análogos. Así pues es imposible clasificarlos según el tipo de razonamiento. La clasificación variaría para cada cuestión. Con ello queda visto que los independientes "alternative frameworks" que propone Watts y a los que nos hemos referido en el capítulo 2 no se sostienen.

Muchos de los anteriores argumentos se encuentran también en los estudiantes universitarios como tendremos ocasión de comprobar.

4.18. Conclusiones a partir de los cuestionarios O-2, Tipos I y II

1. Da la impresión que los alumnos consideran la energía como una sustancia que proporcionan los combustibles, el sol, la electricidad, el cuerpo humano y los alimentos. En algunos casos se observan frases en que se confunde el mismo término energía con el propio combustible. En otros casos, esta sustancia está incorporada o contenida en algunos objetos: alimentos, cuerpo humano...
2. Como la energía es tratada como una sustancia, el concepto de transferencia de energía (en el sentido de paso de un sistema a otro) es fácilmente comprensible. Los fluidos se transvasan con facilidad.
3. Como están persuadidos de que el cuerpo humano contiene este fluido-sustancia las personas más activas son las que contienen mayor cantidad de energía; ser enérgico es tener lleno el "depósito" de energía.
4. Con esta concepción, es fácil pensar que esta "sustancia" se gasta, se pierde, se hace, se obtiene o se precisa como cualquier otro objeto material. Así pues, el concepto de degradación de la energía será fácil de comprender. No contradice sus concepciones.
5. Cuando se les pregunta -como en las cuestiones Tipo I- si se precisa energía para que tenga lugar cierto cambio suelen buscar la causa del cambio: quién o qué lo ha provocado. Hemos constatado la necesidad de este agente causal en diversas cuestiones del cuestionario Tipo I. y también en las del Tipo II Suelen asociar energía a los combustibles y al cuerpo humano con lo que suelen considerarlos responsables de que se tenga o de que se precise energía. En algunas ocasiones no podemos dilucidar si es debido a una necesidad de los alumnos para sus razonamientos o si es otra faceta del punto de vista antropocéntrico.
6. En los casos en que tienen que decidir si cierto objeto tiene o no energía si no es posible asociar la energía a un cuerpo humano o a otro agente causal, hay alumnos que buscan algo que pueda moverse con tal objeto. En vistas de no poder encontrar una causa buscan un efecto. Si algo se mueve o funciona debido al objeto, deciden que tal objeto tiene energía. ¿Están intuyendo la idea de energía disponible?

7. Una idea también común es la utilitaria: si un objeto puede hacer algo útil para otros suelen asociarle energía pero si lo consideran inútil, inactivo o inmóvil dicen que no tiene energía.

8. No siempre asocian la energía al movimiento. Cuando la velocidad de un objeto es muy elevada muchos consideran que puede hacer fuerza pero que no tiene energía. Parece que los alumnos pueden comprender más fácilmente el concepto de momentum que el de energía cinética.

9. Alguna concepción de energía potencial o alguna remota idea de energía almacenada se ha vislumbrado en los casos de energía potencial elástica en que conocen los efectos a que puede dar lugar (coche con cuerda, por ejemplo y en algunas respuestas sobre la bala o la pólvora). La energía potencial gravitatoria no es intuitiva por ninguno de los alumnos de la muestra.

10. Las explicaciones más persistentes son las que hemos calificado de antropocéntricas. En cada una de las cuestiones hemos encontrado respuestas de alumnos distintos en los que se argumentaba la necesidad de energía si cierto proceso o suceso requería un esfuerzo humano (encender una lámpara, poner una maceta en un balcón, etc). Da la impresión de que los alumnos de estas edades no pueden pensar en situaciones lejanas a ellos, tienen que referirlas a acciones propias. Esto explica fácilmente que a objetos inertes (viga, maceta, etc) no se les asocie energía ni tampoco a los objetos que dicen "no aportan ningún beneficio".

11. Hemos podido constatar que los alumnos dan argumentos distintos y algunas veces contradictorios ante preguntas paralelas. La inconsistencia en mantener un punto de vista ha sido una constante a lo largo de los dos cuestionarios. Hemos podido evidenciarlo estadísticamente en varias ocasiones.

Capítulo 5

DESCRIPCION Y ANALISIS DE LAS RESPUESTAS A LOS CUESTIONARIOS Q-3

En este quinto capítulo paso a describir, analizar e interpretar los tipos de respuestas dadas en los dos cuestionarios Q-3. Como hemos visto en el capítulo 3, los cuestionarios Q-3 constan de 10 preguntas cada uno, con varios apartados en algunas de ellas.

Todas las respuestas de los alumnos han sido codificadas en función de la idea que cada estudiante manifestaba, no en virtud de su corrección científica ni en virtud de algún criterio establecido previamente. Han sido las respuestas las que han originado las categorías en las que ha quedado codificada cada una. Cuando varios alumnos mantenían un mismo punto de vista, o expresaban una misma idea, han quedado codificados en la misma categoría. A ideas diferentes les corresponden categorías distintas.

También, las respuestas a alguna pregunta han sido agrupadas y codificadas siguiendo distintos criterios. Por ejemplo, las respuestas a algunas preguntas han podido ser catalogadas según el contexto que se utilizaba, según la relación que establecían con alguna ley o algún concepto, según la idea de conservación que contenía, etc.

La muestra, como se ha dicho en el capítulo 3, está formada por estudiantes de primer curso de Universidad que aún no han recibido enseñanza en esta institución sobre los temas objeto de estudio y por alumnos en 3er. curso de la Licenciatura de Físicas, después de su curso de Termodinámica.

Paso a describir los resultados. Para cada cuestión se incluirá:

1. Enunciado de la cuestión
2. Muestra concreta
3. Categorías en que han quedado codificadas las respuestas
4. Porcentajes de estudiantes de cada nivel de la muestra, en cada categoría.
5. Diagrama de barras para las frecuencias de cada categoría
6. Interpretación de los resultados: concepciones que se manifiestan, comparación entre los grupos de la muestra etc.

5.1. Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 1 (O-3A)

Enunciado de la cuestión:

¿Qué se entiende por energía?

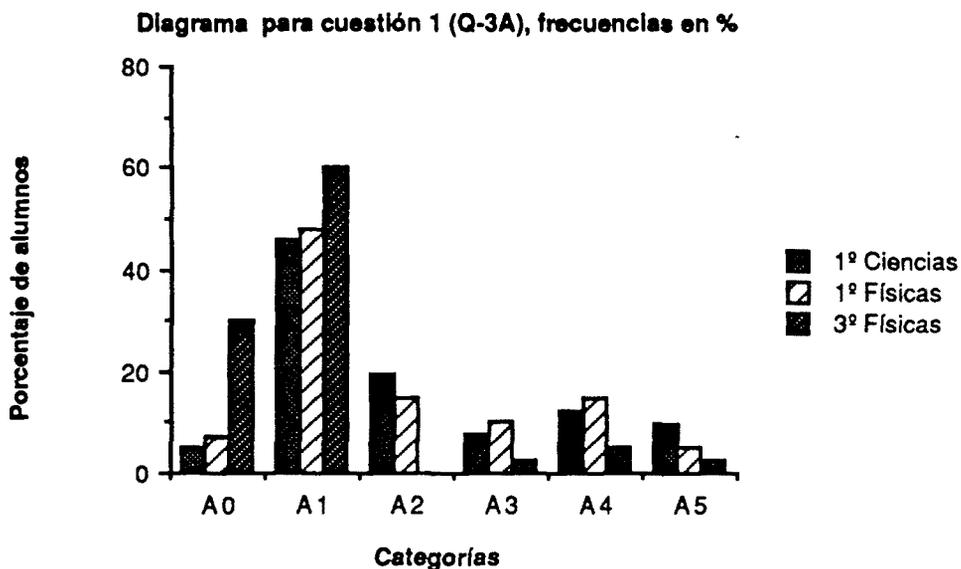
Esta cuestión ha sido planteada a 141 estudiantes en primer curso en la Facultad de Ciencias (Biología), 100 estudiantes en primer curso en Físicas y 40 estudiantes en tercer curso en Físicas.

Las respuestas se han codificado de acuerdo con las siguientes categorías:

- A₀. Cantidad abstracta
- A₁. Capacidad para realizar trabajo
- A₂. Relacionada con fuerzas o movimiento
- A₃. Energía como causa de cambios
- A₄. Otros
- A₅. Sin respuesta

Podemos comparar los resultados obtenidos por los tres grupos de estudiantes:

	1 ^º Biológicas	1 ^º Físicas	3 ^º Físicas
A ₀	5%	7%	30%
A ₁	46.1%	48%	60%
A ₂	19.2%	15%	0%
A ₃	7.8%	10%	2.5%
A ₄	12.1%	15%	5%
A ₅	9.9%	5%	2,5%



A₀ si los estudiantes consideran que la energía es una cantidad abstracta, no simplemente relacionada con uso alguno.

" *Es una magnitud física que debido a sus propiedades de conservación es conveniente definir*", es una frase de este tipo (3º Físicas).

En esta categoría encontramos un 30% de estudiantes de 3º de Físicas y sólo un 5% en 1º de Biológicas y un 7% en 1º de Físicas.

A₁ Las respuestas más frecuentes han sido las codificadas como A₁. Los estudiantes dicen que energía es la capacidad para realizar trabajo de un cuerpo, de un sistema, etc...Es pues la definición tradicional. Alrededor del 50% de los estudiantes de cada grupo dan esta respuesta (46,1% en 1º Biológicas, 48% en 1º de Físicas y 60% en 3º de Físicas). Frases como " *Energía es la capacidad de un cuerpo para realizar un trabajo*" (1º Fis.) son muy frecuentes. Los estudiantes ante esta situación de compromiso se protegen dando esta respuesta estereotipada.

A₂ Es la categoría con respuestas menos científicas. Los estudiantes relacionan la energía con la fuerza o con el movimiento al igual que, como hemos visto hacían, los alumnos en escuela primaria. Podemos leer, por ejemplo: " *Energía es una fuerza potencial*" (1º Fis.) o bien " *La energía es una fuerza que todos los cuerpos se transmiten*" (1º Fis.). La mayoría de los estudiantes en escuela primaria dicen que la energía es una fuerza que... En algunos casos, la definición incluye algunos elementos obtenidos de su enseñanza: " *Energía es la fuerza para realizar trabajo*" dice un estudiante de 1º de Físicas: la idea primitiva se ha mezclado con la definición tradicional aprendida en cursos superiores.

Ningún estudiante de 3º curso dio respuestas codificadas en esta categoría, pero porcentajes similares los encontramos en los dos cursos de primero (un 19.2% en 1º Biológicas y un 15% en 1º de Físicas).

A₃ El grupo siguiente es **A₃**. Los estudiantes codificados en esta categoría definen la energía como algo que provoca cambios, que se requiere para cualquier alteración, evolución, etc.... Respuestas incluidas en este grupo son por ejemplo: "*Entendemos por energía el motor de cualquier cambio o reacción, e incluso la capacidad intrínseca de algo susceptible de cambio físico o químico*" (1º Fis), "*Energía es lo que hace funcionar todas las cosas. Es la causa del movimiento, ya que ni se crea ni se destruye sino que se transforma.*" (1º Fis). "*Es la causa capaz de hacer evolucionar un sistema desde una situación o estado hasta otro distinto*" (3º Fis) "*Es la capacidad de crear, destruir o modificar situaciones o elementos*" (1º Bio).

Los porcentajes son bajos en esta categoría pero encontramos este tipo de respuestas en los tres grupos de estudiantes: 7.8% en 1º Biológicas, 10% en 1º Físicas y 2.5% en 3º Físicas.

A₄ Algunas definiciones extrañas e incodificables forman el grupo **A₄**. En él encontramos un 12.5%, un 15% y un 5% de estudiantes en 1º Biológicas, 1º de Físicas y 3º de Físicas respectivamente. Son respuestas muy personales y con frecuencia sin sentido físico.

A₅ Algunos alumnos no responden a la cuestión. Es el grupo **A₅**. Un 9.9% de estudiantes en 1º Biológicas, un 5% en 1º de Físicas y un 2.5% en 3º de Físicas no se sienten capaces de responder a esta cuestión. Son porcentajes pequeños en comparación con los "sin respuesta" de otras cuestiones.

5.2.Descripción y análisis de las respuestas a la cuestión 2 (O-3A)

Enunciado de la cuestión:

¿Qué indica el principio de conservación de la energía?

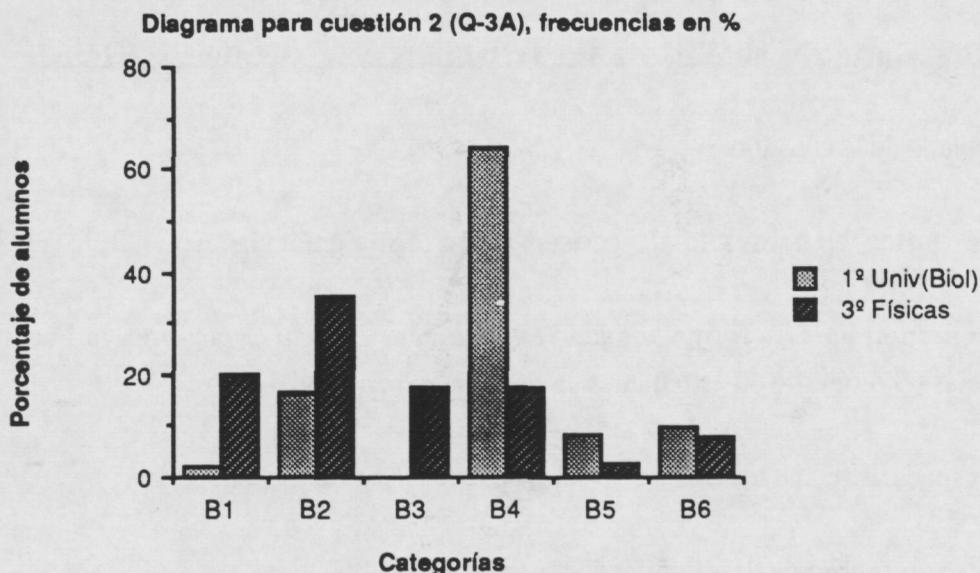
Esta cuestión ha sido formulada a 141 estudiantes en primer curso en la Facultad de Ciencias (Biología) y 40 estudiantes en tercer curso en Físicas.

Las respuestas se han codificado de acuerdo con las siguientes categorías:

- B₁** -Explicación del significado correctamente
- B₂** -Explicación con pocas precisiones
- B₃** -Frase estereotipada aplicada a sistema aislado
- B₄** - Frase estereotipada sin precisiones
- B₅** - Conservación de la energía mecánica ($E_k + E_p$)
- B₆** -Incorrecta

La tabla y diagrama siguientes nos permiten comparar los resultados obtenidos por ambos cursos:

	1º Univ (Biolog)	3º Físicas
B₁	1.7%	20%
B₂	16.1%	35%
B₃	--	17.5%
B₄	64.2%	17.5%
B₅	8%	2.5%
B₆	10%	7.5%



Observamos un claro progreso entre los dos niveles. Veámoslo para cada categoría:

B₁- el grupo que da respuestas realmente explicando, de forma personal y con toda corrección, lo que indica el principio de conservación es muy superior en 3º de Físicas que en 1º de Universidad (Biológicas) Así: *"Indica que la energía de un sistema aislado se conserva, pudiendo ser transformada en un u otro tipo de energía, de manera que el balance total de energía inicial y final permanece constante"* (12-3º Fís). Un 20% de alumnos de 3º y sólo un 1.7% de los de 1º están incluidos en este grupo.

B₂- Otros también dan una explicación no memorística pero sin demasiadas precisiones. *"Que la energía de un sistema físico, no varía cuando este sufre algún cambio"* (29-3º Fís). Encontramos un 35% de los alumnos de 3º y un 16% de los de 1º en este grupo.

Las respuestas personales representan pues más de la mitad de los alumnos de 3º de Físicas.(un 55%)

Muy frecuentes son las respuestas estereotipadas recitando el principio de conservación. Pero conviene distinguir entre dos grupos:

B₃- Los alumnos incluidos en este grupo utilizan la frase memorística del principio de conservación pero la completan o la matizan. Así leemos: *"La energía no se crea ni se destruye sólo se transforma" quiere decir que la cantidad de energía que tiene un sistema aislado nunca puede variar, lo que se pierde se gana de otra forma* (9-3º Fís) *"El*

principio nos dice que en un sistema aislado, la energía no se crea ni desaparece sólo se transforma" (16-3º). Ningún estudiante de 1º ha podido incluirse en esta categoría.

B₄- La mayoría de los estudiantes de 1º de Universidad repiten al pie de la letra "*La energía no se crea ni se destruye únicamente se transforma*". Un 64% de ellos repiten esta respuesta con escasísimas variaciones.

B₅- En ambos cursos encontramos pequeños porcentajes de alumnos que responden con la denominada conservación de la energía mecánica, unos haciendo más precisiones que otros: "*La energía se conserva, es decir, que la energía potencial de un cuerpo no se pierde, sino que se transforma en cinética o al revés*" (45-1º Univ)

B₆- También en ambos cursos encontramos un pequeño grupo de estudiantes que dan explicaciones realmente incorrectas. Quizás este grupo sería mayor si no se hubiera permitido responder con la frase estereotipada. "*Indica que no podemos sacar "algo" de "nada". Que no podemos sacar trabajo o calor (que es una forma de energía) sin hacer un trabajo o calor igual*". (13-3º Fís) Este estudiante intenta explicar el 1er. principio pero a su manera. Además, vemos en esta respuesta que se considera el calor como energía mientras que el trabajo no le merece esta consideración.

Es digno de destacar que ningún estudiante de los dos cursos ha dejado la cuestión sin responder. Todos se han sentido con capacidad para hacerlo