
INVESTIGACIÓN DE ALGUNOS INDICADORES DEL ESTATUS COGNITIVO DE LAS CONCEPCIONES SOBRE EL ESTADO ELÉCTRICO

CRIADO, ANA y CAÑAL, PEDRO

Grupo de investigación GAIA. Departamento de Didáctica de las Ciencias. Universidad de Sevilla

Avda. Ciudad Jardín 22. 41005 Sevilla

acriado@us.es y pcanal@us.es

Resumen. Tomando como hipótesis de trabajo la suposición de que las concepciones alternativas de los alumnos tienen una naturaleza implícita y un carácter probabilístico y difuso, se han estudiado algunos indicadores del *estatus* de las concepciones sobre el estado eléctrico. La investigación de las dimensiones: *estabilidad* en el tiempo, sin mediar enseñanza, *coherencia lógica*, *plausibilidad* y *coexistencia*, ha permitido establecer comparaciones cognitivas entre la acepción académica y las ideas previas. También se ha logrado establecer diferencias internas entre estas últimas, a fin de esclarecer el tipo de dificultad que representan para la evolución conceptual. El estudio empírico se realizó con 52 estudiantes de Magisterio.

Palabras clave. Formación del profesorado, ciencias experimentales, física, concepciones alternativas.

Summary. Assuming the hypothesis that students' alternative conceptions have an implicit nature, and probabilistic and indeterminate features, some indicators of *cognitive status* of these explanations about the notion of electric state have been investigated. Research into the dimensions: *stability* over a period of time without teaching, *coexistence*, *logic consistency*, and *plausibility*, has produced comparisons between the different explanations. Several conclusions about the differences between the conceptions have been derived, with the aim of considering the sort of difficulties that there may be for a satisfactory conceptual evolution. The sample for the empirical research included 52 science students of a primary teacher training college.

Keywords: Teacher education, experimental sciences, physics, misconceptions.

INTRODUCCIÓN

Habiendo logrado reunir extensos inventarios que describen la ciencia intuitiva de los alumnos, hace tiempo que se viene reclamando (Pintó et al., 1996; Oliva 1997; Pro 1999) la necesidad de estudios que profundicen en la caracterización de las concepciones de los estudiantes, produciendo aportaciones al marco teórico que nos hagan comprender mejor las aparentes contradicciones de los resultados de la investigación (Oliva 1999a,b). Si se avanza en este sentido, se contribuiría a validar las hipótesis sobre la naturaleza de estas ideas, así como a evaluar la magnitud y el tipo de dificultad que pueden suponer en el aprendizaje de

conceptos de ciencias. A ello se podría contribuir caracterizando el *estatus cognitivo* de las concepciones (Oliva 1997; Criado, 2000), estatus que constituye una medida de la fuerza con que están aferradas las ideas previas, su plausibilidad y el compromiso cognitivo del alumno con sus explicaciones. Como indicadores del arraigo de estas ideas en la mente de los estudiantes se pueden considerar, por ejemplo, la mayor o menor *estabilidad* de uso de las mismas en el tiempo, la *dependencia del contexto* (de la tarea o el ejemplo), la *certeza* que los alumnos poseen de ellas, la dificultad de cambio tras la enseñanza, etc.

En este trabajo nos limitaremos a exponer los resultados obtenidos en torno a los indicadores: *estabilidad* sin mediar enseñanza, *evolución* (a corto plazo) tras la puesta en marcha de una unidad didáctica, *coherencia lógica*, *índice de certeza* y *coexistencia* de concepciones. Circunscribiremos el estudio que aquí presentamos a las interpretaciones del estado eléctrico de un objeto en tres momentos de medición.

EL PROBLEMA INVESTIGADO

Dejando aparte las concepciones de los sujetos más pequeños (Bridham 1967; McIntyre, 1974; Pro, 1984), las interpretaciones sobre el estado eléctrico de los cuerpos, que expresan los alumnos a partir de los dieciséis años (Guisasola, 1996; Pontes, 1999; Criado, 2000) suelen estar relacionadas con imágenes mentales sobre la concepción corpuscular de la materia y pueden adoptar las modalidades siguientes:

- Posee exceso de partículas cargadas de uno de los signos.
- Está polarizado, están separadas localmente sus cargas positivas y negativas.
- Sus partículas cargadas se agitan y mueven a gran velocidad.
- Se han creado en él cargas eléctricas que no existían antes de la electrización (por el frotamiento, el calor, etc.).

Estas ideas son precisamente el núcleo de los modelos que se pudieron identificar en otro trabajo (Criado y Cañal, 2000a) al investigar el *grado de estructuración* (Oliva, 1999a) de los conceptos básicos de electrostática, que se puso de manifiesto mediante un análisis factorial multivariante.

Cada vez que se solicita a un estudiante que intente buscar explicaciones para los fenómenos, se pone de manifiesto el carácter probabilístico (Monk, 1995) y la estructuración implícita que, entre otros principios, parecen gobernar la naturaleza de las concepciones. En estas situaciones, la activación de una respuesta resulta de la competencia de varios esquemas plausibles que coexisten en la mente del alumno, de ahí que las concepciones se manifiesten más o menos persistentes cuando se indaga sobre ellas. La investigación de estas cuestiones nos llevó a concretar los problemas abordados en los siguientes interrogantes:

- ¿Son estables las concepciones sobre el estado eléctrico durante el tiempo transcurrido entre dos momentos entre los que no ha mediado enseñanza?
- En las interpretaciones sobre el estado eléctrico, ¿están asociadas lógicamente las concepciones sobre las ideas de *cargado* y de *neutro*?
- ¿Cuál es el grado de certeza de la muestra sobre cada concepción en cada momento?

– ¿Existe coexistencia de concepciones en cada momento de medida?

– ¿Qué evolución se observa tras la enseñanza?

HIPÓTESIS DE PARTIDA

De acuerdo con lo que se ha expuesto en la introducción, creemos plausible la hipótesis de que las concepciones se estructuran de forma implícita y tienen un carácter probabilístico. Según esta suposición, no es de esperar que las interpretaciones sobre el estado eléctrico sean absolutamente estables en el tiempo, aunque en el período considerado no haya habido intervención educativa al respecto. De la misma forma, es posible que los alumnos encuentren plausibles, simultáneamente, varias interpretaciones para explicar este estado y que cada experiencia de electrización concreta (por contacto, por frotación, con materiales diferentes), pueda hacer más sugerente una u otra. Así mismo, si el carácter implícito de las ideas previas conlleva que éstas no puedan definirse en términos de «todo o nada», sino que tengan una naturaleza difusa, los estudiantes que las posean, manifestarán dudas sobre cada una de ellas, más que definirse de forma rotunda sobre su mayor o menor validez para explicar los fenómenos. Por último, si un alumno tiene una visión coherente sobre el estado eléctrico, es decir, sobre el significado de los conceptos *cargado* y *neutro*, (sea una concepción científica o alternativa), dichos significados estarán relacionados entre sí. Pero, si el estudiante no los relaciona lógicamente y no es consciente de sus contradicciones, podrá simultanear explicaciones incoherentes entre sí, haciendo compatible la interpretación del estado de un objeto *cargado eléctricamente* con la que utiliza para designar al que se encuentra *neutro*.

ASPECTOS METODOLÓGICOS

En el estudio más amplio que realizamos (Criado, 2000), se utilizaron como instrumentos de detección de las ideas de los estudiantes, además del análisis de material abierto (las respuestas a las actividades de clase y el diario del profesor), parejas de cuestionarios homólogos administrados a un grupo de 52 estudiantes de primero de magisterio (de la antigua especialidad de ciencias).

Los cuestionarios se aplicaron en tres momentos: test y retest, separados tres meses y antes de poner en práctica una unidad didáctica, y por último, posttest, dos semanas después de ella (tras la vuelta del período vacacional). Los ítems se habían validado mediante un panel de cuatro profesores y profesoras de física de nivel universitario y construido a partir de respuestas a preguntas abiertas, recogidas en estudios exploratorios previos con alumnos de cursos anteriores.

Los resultados que aquí mostramos se corresponden con dos preguntas homólogas (mostradas en el anexo I). En una (A.1) se preguntaba por el significado de *cargado de*

electricidad y en otra (B.1) por el sentido de *neutro*, en oposición al anterior. Estas preguntas iniciaban sendos cuestionarios homólogos que se aplicaron en días diferentes. La ventaja de incluir estas cuestiones de opción múltiple fue que permitieron conocer las opiniones de todos los sujetos sobre todas las concepciones, e investigar así su coexistencia en cada estudiante.

Observando el formato de las preguntas se verá que, para responderlas, se pidió a los alumnos que, en primera instancia, eligieran una opción, y a continuación que opinasen sobre todas las opciones, marcando su grado de acuerdo con cada una de ellas en la escala Likert aportada al efecto.

Las preguntas versaban sobre la interpretación de experiencias de demostración sencillas (Criado et al. 1997), que se realizaron por primera vez delante de los estudiantes justo antes de que completasen el Test, de forma análoga a como se ha realizado en otras investigaciones (De Pro, 1984).

Al realizar la serie de experiencias, se puso énfasis primeiramente en mostrar, en cada una de ellas, que inicialmente no se observaba ninguna interacción entre los objetos implicados. En segundo lugar se electrizaron los cuerpos, por frotación o por contacto simple (según la experiencia). Se partió, bien de objetos neutros, cuyo contacto mutuo e intenso daba lugar a una pareja con cargas de signo contrario, o bien de un objeto previamente electrizado, que se ponía después en contacto con otro neutro proporcionándole carga del mismo signo. Cada experiencia finalizaba siempre aproximando los objetos hasta observar interacción entre ellos y, obviamente, no se daban las interpretaciones de los hechos que aquí se están ofreciendo al lector, para facilitarle la descripción de los fenómenos.

Como materiales, se utilizaron un bolígrafo de plástico, tela de forro, papel de fumar, láminas de plástico (transparencias de retroproyector), tiras de cinta adhesiva marca Scotch y un péndulo eléctrico sencillo, materiales con los que se consiguen electrificaciones muy patentes. La intención era que los alumnos pudieran observar tanto electrificaciones por contacto (entre la lámina y el folio o entre la lámina y la tela de forro), como por frotación (del bolígrafo con tela de forro, de la lámina con tela de forro). Y además que viesen atracciones entre dos objetos cargados por contacto mutuo (entre la lámina y el folio, o entre dos tiras de cinta adhesiva), así como repulsiones entre objetos cargados (entre dos tiras de cinta adhesiva o entre la lámina y el péndulo eléctrico). Y, por último, producir inducciones entre un objeto cargado y otro neutro (entre la lámina y trocitos de papel de fumar, o entre el bolígrafo y éstos).

Cómo técnicas estadísticas, se emplearon índices descriptivos para el estudio del *grado de certeza*, la *coexistencia* de concepciones y la *dificultad de evolución*; además se utilizó la prueba de independencia de χ^2 de Pearson para dos variables categóricas, con el objetivo de estudiar los indicadores *estabilidad* y *coherencia lógica*. En el caso de la estabilidad en el tiempo, las parejas de variables a estudiar fueron cada pregunta del Test con la misma cuestión

en el retest. Para averiguar el grado de coherencia o posible asociación lógica entre las concepciones sobre *cargado* y *neutro*, se cruzaron igualmente las modalidades de respuesta correspondientes a cada uno de los conceptos, en cada uno de los momentos de medida.

RESULTADOS

1. Estabilidad en el tiempo sin mediar enseñanza y dificultad de evolución tras la misma

Para obtener una primera visión global del grado de estabilidad sin mediar enseñanza y de la dificultad de evolución de las concepciones tras ella, se pueden consultar las frecuencias relativas en forma de porcentaje de la tabla I. En relación con el significado proporcionado a *cargado*, se puede apreciar que en los dos momentos de medida, antes de la enseñanza, las modalidades de respuesta se reparten, sobre todo, entre las tres primeras opciones, habiendo variaciones apreciables del test al retest. Con respecto al significado de *neutro*, la mitad de las respuestas se concentra en la modalidad académica, para la cual, aparentemente, habría bastante estabilidad, tal como ocurre para la modalidad que explica el estado neutro en función de que *las partículas se agitan con poca energía*. Pero como los porcentajes globales nada nos dicen sobre si son los mismos alumnos los que repiten las mismas respuestas, no se avanzará ninguna valoración más hasta analizar los datos del estudio de correspondencia test-retest que exponemos más abajo.

En cuanto a la *dificultad de evolución* tras la enseñanza, las respuestas de los alumnos en las actividades se concentraron mayoritariamente en la modalidad académica. De los valores de las frecuencias relativas del Postest también parecía deducirse que la mayor parte de los alumnos había experimentado una evolución satisfactoria en el aprendizaje de este concepto. Sin embargo, la investigación de la *coexistencia* de concepciones, (expuesta en el tercer apartado), matiza de forma más realista los resultados.

Volviendo al estudio de la *estabilidad*, mostramos cómo se analizó la relación existente entre cada opción en el Test con esa misma en el Retest, tanto en la pregunta sobre el significado de *cargado* como en su homóloga sobre el sentido otorgado a *neutro*. La tabla II ofrece información sobre los cruces χ^2 de las variables (preguntas) y por tanto sobre el grado de permanencia de las ideas, aportándose para cada modalidad de respuesta los siguientes datos:

- El número de alumnos o alumnas que mantienen la respuesta (N).
- El porcentaje que representan sobre el número de personas que en el Test emitió dicha respuesta (% test).
- El porcentaje que representan sobre el total (% total).
- El residual ajustado (r.a.) y la probabilidad de error (p).

Se considera estable una concepción siempre que sea el estadístico *residual ajustado*, r.a. > 2; o siempre que sea la probabilidad, p < 0,05.

Tabla I
Resultados globales de estabilidad antes de la enseñanza.
(Test / Re-test) y evolución tras la misma (Pos-test) n = 52

Significado de «cargado»	Test	Retest	Postest
No contesta	0%	0%	0%
a)* Exceso nº partículas con carga de un signo	29%	33%	94%
b) Partículas agitándose, con energía, más velocidad	27%	13%	0%
c) Está polarizado, separadas localmente q + y q -	27%	48%	6%
d) Se han creado cargas que no poseía	17%	6%	0%
e) Otra	0%	0%	0%
Significado de «neutro»	Test	Retest	Postest
No contesta	0%	0%	0%
b)* N° q(+) = n° q(-)	54%	54%	100%
a) Partículas con poca energía	19%	19%	0%
d) Igual nº part. c. cargado, pero entremezcladas	10%	21%	0%
c) No posee carga ni (+) ni (-), se crearían ...	17%	6%	0%
e) Otra	0%	0%	0%

Tabla II
Estabilidad de las ideas entre Test y Retest: cruces χ^2 .

Significado de cargado	n	% Test	% Total	r. a.	Prob.
Exceso de q de un signo *	9	60,0	17,3	2,7	0,0035
Partículas agitándose	5	35,7	9,6	2,9	0,0019
Separación local de q	12	85,7	23,1	3,3	0,0005
Creación de q	1	11,1	1,9	0,8	Nulo
Significado de neutro	n	% Test	% Total	r. a.	Prob.
N° q(+) = n° q(-) *	20	71,4	38,5	2,7	0,0035
Partículas con poca energía	6	60,0	11,5	3,6	0,0002
Partículas entremezcladas	5	100,0	9,6	4,5	0,0000
No existen q	1	11,1	1,9	0,8	Nulo

De la lectura global de la tabla II se infiere que, en el grupo estudiado, las concepciones sobre el estado eléctrico son estables (como en general, el resto de los conceptos que se analizaron en la investigación). Para la idea de *cargado*, la

estabilidad se da tanto entre las modalidades de respuesta académica como en las concepciones alternativas, salvo la opción *creacionista*; y comparando todas ellas, la más estable es la de *separación local de cargas* ($p = 0,0005$).

Las respuestas sobre *neutro* siguen una pauta similar a sus homólogas. En coherencia con lo ocurrido con éstas, todas las concepciones permanecen en el tiempo salvo la que supone que *no existen cargas, ni positivas, ni negativas en un objeto neutro* (relacionada con la de *creación de cargas en el objeto cargado*). Igualmente, la más estable es la de *partículas entremezcladas* ($p=0,0000$) y la menos estable es la científica: *igual número de cargas de ambos signos* ($p=0,0035$).

De estos resultados se desprende que la idea de *polarización, de reorganización y separación de cargas positivas y negativas* es, en principio, la que representa un obstáculo mayor, ya que parece estar más arraigada y por tanto competirá fuertemente con la explicación física de *exceso o defecto de cargas de un signo*, para definir el estado eléctrico de un objeto. Por el contrario, las representaciones *creacionistas* en función de que puedan *aparecer cargas que no existían previamente en la materia*, no parecen estar firmemente afianzadas y existirá menor rivalidad entre ellas y la interpretación académica, para alumnos de este nivel universitario.

2. Coherencia lógica entre las interpretaciones de *cargado* y *neutro*

Dentro de una concepción coherente sobre el estado eléctrico, el significado de *cargado* estaría relacionado con el de *neutro*. Por ello; se indagó si en el caso de las concepciones alternativas eran conceptos *opuestos* como en el caso científico, es decir, si el alumno que cree que *cargado* significa que *las partículas se agitan con energía*, responderá

también que si un objeto está *neutro* ello implica que *sus partículas poseen poca energía*, etc. Los resultados indicaron que, en general, como se muestra en la tabla 3, se puede afirmar que ambos significados están asociados lógicamente, salvo excepciones que más abajo comentamos. El estudio se hizo, con la misma técnica que en el caso anterior, es decir se realizaron cruces de χ^2 con las modalidades de respuesta homólogas a las preguntas sobre los significados de *cargado* y de *neutro*, buscando relaciones significativas entre ellas.

De la lectura de la tabla III se desprende que en el Test las definiciones de uno y otro se corresponden, con alta significación estadística, en todos los casos salvo en la opción «*creacionista*», que de nuevo parece poco aceptable para nuestros estudiantes. En el Retest, la pauta se mantiene, con la única diferencia de que la proporción de alumnos que responden con respuestas académicas no es suficientemente grande, comparada con las demás, por lo que no se puede afirmar que exista una correspondencia con significación estadística.

Este resultado nos muestra cómo un concepto que parece elemental para los profesores, no tiene para nuestros estudiantes el significado que cabría esperar tras su estudio reiterado en distintos niveles de la educación obligatoria y el bachillerato. Quizás sea la consecuencia de una enseñanza ineficaz, planteada de espaldas a los enfoques constructivistas hoy aceptados, pero es probable que incluso mediante estrategias de enseñanza bien fundamentadas los resultados no hubieran sido muy satisfactorios. No se debe olvidar que aún no está resuelta la cuestión de la escala temporal que lleva la evolución de las concepciones

Tabla III

Asociación de los significados de *cargado* y de *neutro*: cruces χ^2 .

Test		N	%A	%B	%glo	r.a.	Prob.
A: CARGADO	B: NEUTRO						
Exceso q un signo *	Nº q(+) = nºq(-) *	15	100	53,6	28,8	4,3	0,0000
Partículas agitándose	Partículas: poca energía	8	57,1	80,0	15,4	4,2	0,0000
Separación local de q	Partíc. entremezcladas	5	35,7	100	9,6	3,9	0,0000
Creación de q	No existen q	3	33,3	33,3	5,8	1,4	Nulo
Retest		N	%X	%Y	%glo	r.a.	Prob.
X: CARGADO	Y: NEUTRO						
Exceso q un signo *	q(+) = q(-) *	12	70,6	42,9	23,1	1,7	Nulo
Partículas agitándose	Partículas poca energía	4	57,1	40,0	7,7	2,7	0,0035
Separación local de q	Partíc. entremezcladas	10	40,0	90,9	19,2	3,2	0,0007
Creación de q	No existen q	1	33,3	33,3	1,9	2,1	0,0179

(Luffiego, 1997), ni del número de ciclos de enseñanza constructivista necesarios para que la evolución sea adecuada y permanente.

En el Postest hay poca variabilidad y las respuestas son académicas mayoritariamente. Por tanto, es fácil deducir que hay una gran correspondencia entre ambos conceptos sobre el estado eléctrico.

Es de resaltar que tanto en el Test como en el Retest, los significados de *cargado* y *neutro* están relacionados lógicamente, en dos de las concepciones alternativas homólogas. En concreto, están asociadas: la idea de «*cargado - partículas agitándose*» con la de «*neutro - partículas con poca energía*»; y la idea de «*cargado - separación local de cargas*» con la de «*neutro - partículas entremezcladas*». Por tanto; ambas ideas sobre el estado eléctrico, mantenidas independientemente de la pregunta formulada, deben poseer un mayor *estatus* cognitivo y serán, por ello, mayores rivales del significado académico que otras interpretaciones usadas por los estudiantes de una forma menos sistemática. Obsérvese que la identificación de *cargado* con «*polarizado*» destaca también en este segundo indicador del *estatus*.

3. COEXISTENCIA DE CONCEPCIONES

Las opiniones de todos los alumnos sobre todas las modalidades de respuesta pusieron de manifiesto la coexistencia de concepciones, aproximadamente en la mitad de los alumnos (tanto en el Test como el Retest). Sin embargo, en el Postest, aunque en una parte del grupo se mantuvo la multiplicidad de concepciones en el concepto de «*cargado*», apenas se dio esta circunstancia en el de «*neutro*». En la tabla 4 se puede observar, en frecuencia absoluta y en porcentajes, el número de alumnos que estaría al menos «algo de acuerdo» (un 3 en la escala Likert) con más de una de las opciones de respuesta.

Tabla IV

Coexistencia de concepciones n=52					
Frecuencia de estudiantes que dan más de un significado para <i>cargado</i>					
Test		Retest		Postest	
N	%	N	%	N	%
27	52%	23	42%	12	23%
Frecuencia de estudiantes que dan más de un significado para <i>neutro</i>					
Test		Retest		Postest	
N	%	N	%	N	%
23	44%	19	36%	3	6%

En la matriz que se muestra en el anexo 2 (reproducida parcialmente, por razones de espacio), se puede ver de forma gráfica la concurrencia de respuestas que resultan verosímiles. Cada fila contiene los datos de un alumno y cada columna se refiere a una opción (a, b, c, d) para cada uno de los dos conceptos, en los tres momentos de medición. Se han sombreado los casos en que un alumno ha manifestado estar al menos «*algo de acuerdo*» con más de una opción de respuesta. Estudiando con detalle la matriz completa se vio que, antes de la enseñanza, las concepciones que más coexisten son las que utilizan las ideas de «polarización» o de «agitación de cargas» (en concordancia con los resultados de los indicadores del *estatus* anteriores), seguidas por la respuesta científica. La diferencia fundamental entre los resultados para los conceptos de *cargado* y de *neutro* estriba en que este alumnado parece encontrar plausibles simultáneamente más interpretaciones distintas del primer concepto que del segundo. Esto, coincidiendo con los datos de los indicadores que venimos explicando, induce a pensar que el significado de *neutro* tiene un carácter menos difuso en la mente de los estudiantes, que el de *cargado*.

La presencia simultánea de ideas previas experimenta una ligera disminución del Test al Retest, lo cual podría deberse a un efecto relacionado con la mayor familiaridad con las preguntas la segunda vez que se abordan, aunque también cabría la posibilidad de que algunos alumnos hubieran repasado sus conocimientos sobre electrostática entre una y otra prueba. Habida cuenta de que no hubo un incremento significativo de las interpretaciones académicas, y de que la variación consistió básicamente en una tendencia a abandonar las concepciones «creacionistas», nos inclinamos hacia la primera posibilidad como causa de que hubiera más estudiantes que se decantasen con más confianza por una sola opción.

Tras la enseñanza se observa una notable diferencia entre los dos conceptos implicados en la definición del estado eléctrico. Como hemos avanzado al principio, apenas hay coexistencia de concepciones para *neutro*, lo cual puede ser debido a que se trata de un término cuyos sentidos científico y cotidiano son fáciles de relacionar, de forma que las concepciones alternativas sobre *neutro* tendrían un *estatus* más bajo que las ofrecidas para la idea de *cargado*. En este caso, la multiplicidad de explicaciones implica, en la mayoría de los sujetos, dar la respuesta académica acompañada de representaciones.

Retomando la indagación sobre el indicador *dificultad de evolución tras la enseñanza* abordada en el primer apartado, los datos del indicador *coexistencia* reducen el aparente éxito docente que, en principio, podrían sugerir los resultados de la tabla I, pues ahora vemos que hay concepciones alternativas simultáneas a las respuestas académicas elegidas en primera instancia. En concreto, en la cuarta parte de los alumnos, el concepto físico no ha desplazado a las ideas previas, que siguen manteniendo cierto *estatus* en su mente. Todo ello; a pesar de que la unidad didáctica se había diseñado (Criado, 2000) intentando tomar en consideración resultados de la investigación en Didáctica de las Ciencias: conociendo con bastante antelación posibles obstáculos de los estudiantes, programan-

Tabla V
Índice de plausibilidad o de certeza de las concepciones.
(Med = mediana)

Concepto	Modalidad de respuesta	Test		Retest		Postest	
		N	Med	N	Med	N	Med
Cargado	Exceso de cargas de un signo*	52	2	52	2	52	5
	Partículas agitándose	52	3	50	2	52	1
	Separación local de cargas	52	2	50	3	52	1
	Creación de cargas	52	2	50	2	52	1
Neutro	Nº de cargas (+) * = nº cargas(-) *	52	3	52	3	52	5
	Partículas con poca energía	52	2	52	2	51	1
	Partículas entremezcladas	52	1	52	2	51	1
	No existen cargas	52	1	52	1	51	1

do actividades al efecto y realizando modificaciones durante su desarrollo para intentar incidir en las ideas previas más efectivamente. Algo que pone de relieve la necesidad de estudios más en detalle sobre aspectos particulares de la construcción del saber relativo a cada tópico curricular, como algunos de los efectuados, por ejemplo, sobre la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas (Cañal 1990, 1997).

4. PLAUSIBILIDAD O GRADO DE CERTEZA

Mediante este indicador del estatus cognitivo, se pretendía averiguar si todas las concepciones eran igualmente verosímiles para el grupo de estudiantes en su conjunto. Esta característica de las concepciones se pudo detectar también al solicitar que el alumnado mostrase su grado de acuerdo con todas y cada una de las opciones de respuesta. De acuerdo con Dillon et al. (1996), el estadístico que representa la tendencia central de una escala de valores ordinales puede ser la media o la mediana, si bien para casos como el que nos ocupa parece que se inclinan por la mediana, que es la que hemos utilizado para establecer las comparaciones. En la tabla V y en la gráfica 1 se exponen estos resultados, y de ellos se deriva que las interpretaciones, sean alternativas o científicas, parecen tener un grado de plausibilidad similar y no muy alto. Sin embargo, después de la enseñanza la mayoría de los alumnos está más segura de la interpretación académica. Siendo esto último esperable, lo primero no era inmediato y significa que los cuatro posibles significados que se mostraron para el estado eléctrico eran igualmente admisibles para este grupo de estudiantes. Podría esperarse que el manejo de conocimiento científico, menos

difuso que el intuitivo, se hiciera con mayor grado de certeza, pero no parece ser así en el momento anterior a la implementación de la unidad didáctica. Comparando lo que ocurre antes y después de la misma, vemos que se pasa de una situación en la que todas las respuestas son de credibilidad parecida (valores 2, 3), a otra, en el Postest, donde hay una marcada diferencia entre la concepción académica (valor 5) y las demás. Anexo 1.

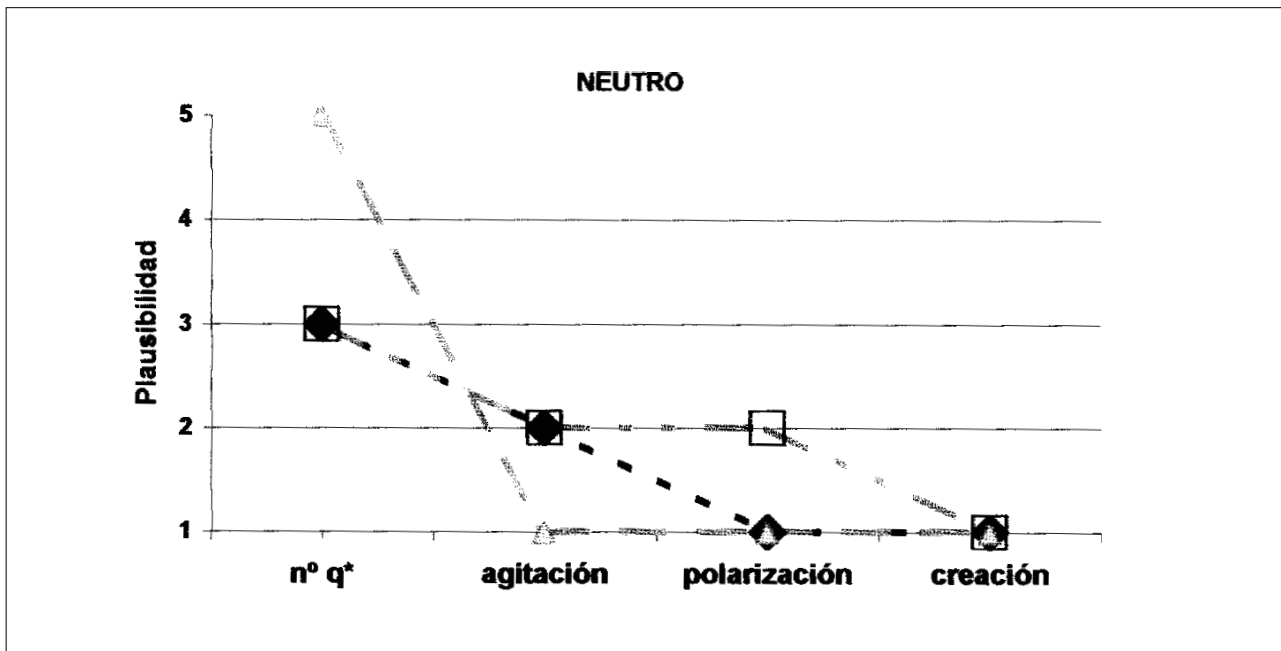
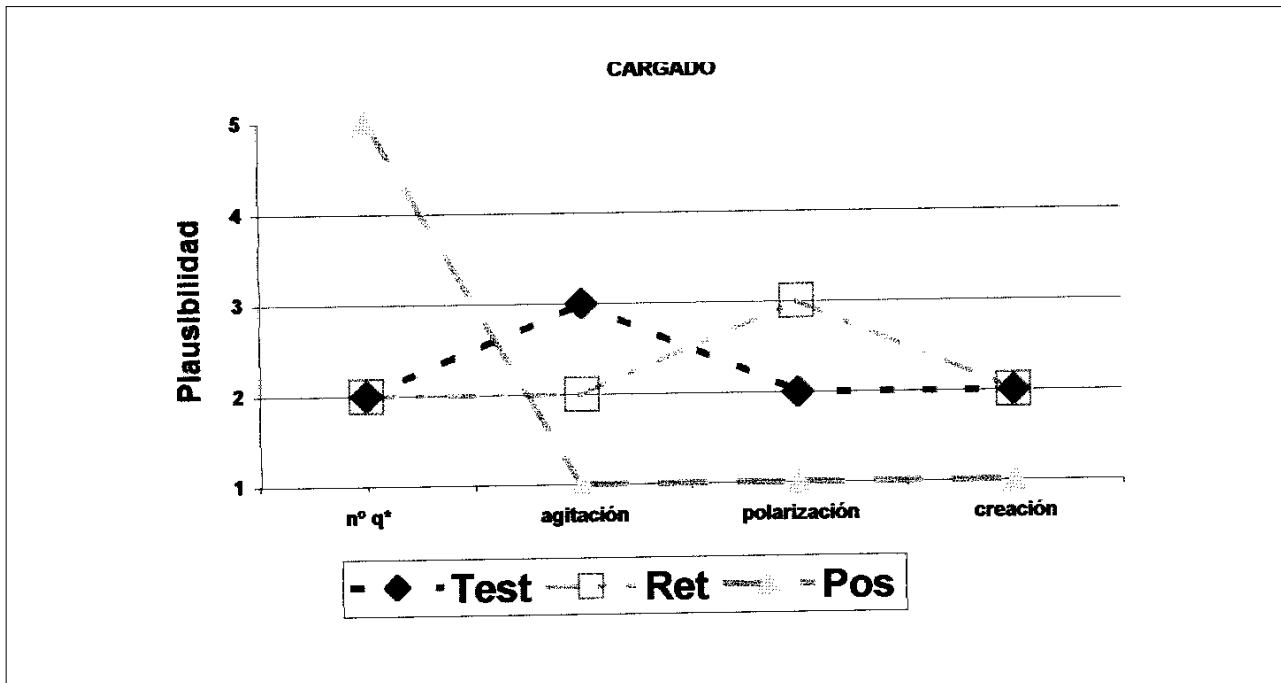
Antes de la enseñanza la interpretación más plausible para el concepto de *neutro* es la académica. Sin embargo, para el significado de *cargado*, las concepciones: «*está polarizado, están separadas localmente sus cargas positivas y negativas*» y «*sus partículas están agitándose a gran velocidad*» son algo más convincentes. Este indicador señala nuevamente las dos concepciones que pueden competir en mayor medida con el concepto físico y, en el momento inmediatamente anterior a la enseñanza (Retest), apunta a la explicación en función de la existencia o no de una «polarización», como el obstáculo a tener más en cuenta en la construcción del conocimiento del concepto de *cargado*.

CONCLUSIÓN

Se constata el interés del concepto de *estatus de las concepciones* para abordar la caracterización de las mismas en ciencias. Tomando como hipótesis de trabajo la suposición de que estas ideas de los alumnos tienen una naturaleza implícita y un carácter probabilístico y difuso, se han estudiado algunos indicadores del *estatus* de las concepciones sobre el estado eléctrico.

Gráfica I

Plausibilidad de las concepciones sobre el estado eléctrico. En ordenadas se representa la mediana de los datos de la escala Likert de cada opción de respuesta, reflejada en abscisas.



La investigación de las variables: *estabilidad* en el tiempo sin mediar enseñanza, *coherencia lógica*, *plausibilidad* y *coexistencia*, ha permitido establecer comparaciones cognitivas entre la acepción académica y las ideas previas. También se ha logrado establecer diferencias internas entre estas últimas, a fin de esclarecer el tipo de dificultad que representan para la evolución conceptual.

Aunque ya se podía intuir a priori, con estos datos se ha logrado verificar que los indicadores del *estatus* investigados coinciden en que el concepto académico de *neutro* tiene un carácter más definido en los estudiantes, por lo que será una idea más asequible que la de *cargado*. Esto puede deberse a la posibilidad de construir significados con la ayuda de analogías relativas al concepto de *neutro* en situaciones del contexto cotidiano (color neutro, persona neutral,...) o bien por el paralelismo que también se puede establecer con otros ámbitos del conocimiento académico (el hilo neutro en la instalación eléctrica, el carácter neutro en teorías ácido-base, ...). La consecuencia educativa de ello es que, sabiendo que los estudiantes tienen facilidad para aprender conceptos por oposición, atendiendo a pares de caracteres antagónicos (Cañal 1990), y resultando en este caso uno de ellos más asequible, podrá aprovecharse esta ventaja para ayudar a la introducción del que resulta más abstracto.

De entre las concepciones sistemáticamente descritas en la bibliografía para alumnos mayores de dieciséis años, se ha visto que las que interpretan el estado eléctrico en función de una «distribución polar de cargas positivas y negativas dentro de un objeto» (que sería *neutro* para la Física), o bien en función de una «mayor o menor agitación de las partículas», constituyen ideas fuertemente arraigadas, con un alto *estatus* cognitivo, por lo que probablemente supondrán un mayor obstáculo que otras ideas previas.

Detallando y matizando estas conclusiones, especificaremos que tras el desarrollo de una unidad didáctica innovadora y diseñada con actividades especialmente destinadas a superar los obstáculos detectados, parece que inicialmente se ha dado una evolución conceptual satisfactoria, pues las respuestas académicas predominan y además obtienen altos índices de *plausibilidad*. Sin embargo se ha podido descubrir que las concepciones mencionadas coexisten junto con la científica en una parte significativa de los estudiantes.

Concretando más la caracterización, es de destacar que, antes de la enseñanza, las ideas relacionadas con una «*polarización*» son incluso más *estables* que las respuestas científicas y presentan una *plausibilidad* superior que aquellas cuando se trata de explicar qué significa que un objeto esté *electrizado*; y también que existe coherencia lógica entre la acepción otorgada a *cargado de electricidad* («*polarizado*») y la aportada para *neutro* («sin polarizar»). Hemos de considerar además que en el estudio de las ideas previas en alumnos universitarios se ha encontrado que los imanes se identifican con un dipolo eléctrico macroscópico (Meneses y Caballero, 1995). Y si tenemos en cuenta tam-

bién que la interacción electrostática y la magnetostática, en general, se identifican fenomenológicamente (Pontes y Pro, 1998; Criado y Cañal, 2000^b), nos encontramos con relaciones entre concepciones alternativas cuya coherencia interna hace que su arraigo sea superior al que poseerían si fueran ideas inconexas. De hecho, en el estudio general que realizamos se pudieron identificar modelos o agrupaciones de ideas alternativas organizadas lógicamente (Criado, 2000).

Si nos detenemos en el contenido de estas concepciones no académicas, no parece que posean un origen espontáneo, sino que seguramente son fruto de la interacción del saber experiencial con el conocimiento escolar a lo largo del paso por el sistema educativo, produciéndose este efecto no previsto. Si el docente ignora que esto ocurre, si no valora este obstáculo didáctico en su justa medida, no es de extrañar que los alumnos universitarios aún no puedan dominar plenamente los conceptos más básicos de la electrostática.

Si bien tenemos cierta seguridad sobre las concepciones anteriores que tienen más arraigo en nuestros alumnos, nos quedan dudas sobre las relacionadas con el rechazo de la idea de creación de carga. Las concepciones «creacionistas» ya han sido descritas en trabajos anteriores; como los de Guisasaola y Furió (1994) o Pontes y Pro (1998), en los que se mencionan concepciones relativas a que «la energía o el calor pueden convertirse en carga eléctrica». No obstante, en los estudiantes de nuestro grupo-clase, ideas como ésta no parecen tener un alto *estatus*, cuando los alumnos tienen a su disposición otras explicaciones más plausibles. Sin embargo en el estudio completo que efectuamos (Criado, 2000), se puso de manifiesto que alumnos que no optan inicialmente por ideas «creacionistas», más adelante, en el mismo cuestionario, no tienen en cuenta el principio de conservación de la carga en tareas más abiertas. Concretamente, es lo que ocurriría al tener que justificar la repulsión final entre dos objetos cargados en una serie de tres viñetas (representando experiencias previamente observadas). En ese contexto, la intención de poner cargas del mismo signo en las caras de los objetos que se están enfrentando produjo, según el estudiante, varios tipos de procesos en los que se podía tanto aniquilar como generar carga eléctrica.

Interpretando estos resultados bajo el marco teórico del que partimos; en torno a la naturaleza de las concepciones, se puede aceptar que los alumnos pueden ser más o menos sensibles a sus contradicciones internas y que la competencia de esquemas que se pone en marcha a la hora de dar la explicación de un fenómeno observado produce una activación de ideas que no es determinista. De ahí que aunque las concepciones «creacionistas» tengan, como declaración teórica, menos crédito que otras, los estudiantes pueden transgredir el principio de conservación de la carga en tareas específicas, cuando no tienen otra forma de cumplir otros «principios» (como el de «cargas del mismo signo se repelen») que para ellos tengan mayor credibilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRIDGHAM, R. (1967). *An Investigation of Piagetian Tests as Predictors of Students Understanding of Electrostatics*. Master Thesis, Harvard University. Michigan: UMI dissertation Services.
- CAÑAL, P.P. (1990). *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Un estudio didáctico en la enseñanza básica*. Tesis doctoral inédita, Universidad de Sevilla.
- CAÑAL, P.P. (1997). La fotosíntesis y la «respiración inversa» de las plantas: ¿un problema de secuenciación de contenidos? *Alambique*, 14, pp. 22-36.
- CAÑAL, P. (1990). Photosynthesis and the «inverse respiration» of plants: An inevitable misconception? *International Journal of Science Education*, 21(4), pp. 363-371.
- CRIADO G^a-LEGAZ, A. (2000). *Un estudio didáctico en torno a la enseñanza de aspectos básicos de la electrostática en la formación inicial de maestros*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
- CRIADO, A. y CAÑAL, P. (2000a.). La estructuración del conocimiento escolar: el caso de la electrostática. En Martín M. y Morcillo J.G. Eds. *Reflexiones sobre la didáctica de las ciencias Experimentales. Actas de los XIX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, Madrid. Septiembre de 2000. Facultad de Educación, pp. 532-540. Madrid: Nívola.
- CRIADO, A. y CAÑAL, P. (2000b). La identificación de fenómenos electrostáticos cotidianos por estudiantes de magisterio. *Alambique*, 32, pp. 32-38.
- CRIADO, A., MORÓN, M.C., VENERO, C. y MARTÍNEZ, L.I. (1997). *Actividades para aprender electrostática. Fichas didácticas*. Sevilla: C. Venero.
- DILLON-MADDEN-FIRTLE (1996). *La investigación de mercado en un entorno de Marketing*. 3^a Edición. Madrid: Mosby-Doyma Libros S.A. División Irwin. Madrid.
- GUISASOLA, J.y FURIÓ, C. (1994). Dificultades en el aprendizaje significativo de algunos conceptos de Electrostática. *Investigación en la Escuela*, 23, pp. 103-114. *Escuela*, 23, pp. 103-114.
- GUISASOLA, J. (1996). *Análisis crítico de la enseñanza de la electrostática en el Bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista*. Tesis doctoral inédita. Universidad del País Vasco.
- LUFFIEGO, M. (1997). ¿Puede la teoría de la evolución, las neurociencias y la teoría del caos determinista contribuir a resolver el problema de cómo tiene lugar el cambio conceptual? *V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Enseñanza de las Ciencias*, n^o extra extra, pp. 85-95.
- McINTYRE, P.J. (1974). Students' use of model in their explanations of electrostatic phenomena. *Science Education*, 58(4), pp. 577-580.
- MENESES J.A. y CABALLERO, M.C. (1995). Secuencia de enseñanza sobre electromagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), pp. 36-45.
- MONK, M. (1995). On the identification of principles in science that might inform research into students' beliefs about natural phenomena. *International Journal of Science Education*, 17(5), pp. 565-573.
- OLIVA, J.M. (1997). Estatus de las concepciones de los alumnos en Física: un proyecto de investigación en curso. V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias. Murcia. *Enseñanza de las Ciencias*, n^o extra V Congreso, pp. 203-204.
- OLIVA (1999). ¿A qué nos referimos cuando hablamos del nivel de estructuración de las concepciones de los alumnos? *Investigación en la Escuela*, 39, pp. 27-38.
- OLIVA, J.M. (1999b). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-107.
- PINTÓ, R., ALIBERAS, J. y GÓMEZ, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), pp. 221-232.
- PONTES, A. (1999). *Aportaciones al estudio de las concepciones sobre electromagnetismo y sus implicaciones en la Didáctica de la Física*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Córdoba.
- PONTES, A. y PRO, A. (1998). Interacciones eléctricas y estructura de la materia: dificultades de los estudiantes en la adquisición de modelos científicos. En E. Banet y A. de Pro (Coords.) *Investigación e innovación en la Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Murcia.
- POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. y GERTZOG, W.A. (1982). Accomodation of a scientific conception: towards a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), pp. 211-227.
- PRO, A. (1984). *Diseño, aplicación y evaluación de dos metodologías (expositivo-audiovisual y experimental-integrada) para la enseñanza de la Física*. Tesis doctoral inédita. U. Sevilla.
- PRO, A. (1999). ¿Qué investigamos? ¿Cómo lo hacemos? ¿A qué conclusiones llegamos?: Tres preguntas que hacen pensar. En: *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales. Actas de los XVIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. A Coruña 1998, pp.115-127. A Coruña: Universidad da Coruña. Servicio de Publicacións.

ANEXO I - A

Primera pregunta del cuestionario A

A. 1. Vamos a describir un estado:

El bolígrafo frotado y la transparencia, que ha sido presionada contra otra, atraen papelitos.

La **diferencia** entre un objeto electrizado o **cargado** de electricidad y un objeto **neutro** está en que: un objeto **tiene carga** cuando:

*Elige UNA opción marcando «x» o bien escribe otra explicación más apropiada en la opción e)

- a) Posee mayor número de partículas cargadas de un signo que del otro signo.
- b) Sus partículas cargadas han adquirido energía, se agitan y mueven a mayor velocidad.
- c) Está polarizado, están separadas, localmente, sus cargas positivas y negativas.
- d) Se han creado en él cargas eléctricas que no poseía antes de la electrización.
- e) Otra explicación (escríbela):

**Considera ahora TODAS las opciones anteriores y en la siguiente escala señala QUÉ OPINIÓN TE MERECE CADA UNA, marcando con «x» en cada caso .

La diferencia entre «cargado» y «neutro» estriba en que un objeto **tiene carga** cuando:

- a) Posee mayor número de partículas cargadas de un signo que del otro signo.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- b) Sus partículas cargadas han adquirido energía, se agitan y mueven a mayor velocidad
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- c) Está polarizado, están separadas, localmente, sus cargas positivas y negativas.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- d) Se han creado en él cargas eléctricas que no poseía antes de la electrización.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- e) La explicación que escribiste (si es que elegiste esta opción)
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo

ANEXO I - B

Primera pregunta del cuestionario B

B. 1. Vamos a describir un estado:

Acercamos bolígrafo sin frotar (o una transparencia) a unos papelitos y ninguno ejerce interacción sobre ellos, son objetos neutros.

La **diferencia** entre un objeto **electrizado** o **cargado** de electricidad y un objeto **neutro** está en **el objeto no cargado**:

*Elige UNA opción marcando «x» o bien escribe otra explicación más apropiada en la opción e)

- a) Posee partículas cargadas que no están excitadas, poseen poca energía y apenas se mueven.
- b) Posee igual número de partículas cargadas de signo «+» que partículas cargadas de signo «-».
- c) No posee cargas eléctricas (ni «+» ni «-») aparecerían al crearlas mediante una electrización.
- d) Posee el mismo número de partículas eléctricas que el objeto cargado pero en el neutro caso están entremezcladas.
- e) Otra explicación (indicala):

**Considera ahora TODAS las opciones anteriores y en la siguiente escala señala QUÉ OPINIÓN TE MERECE CADA UNA, marcando con «x» en cada caso .

La **diferencia** entre un objeto **electrizado** o cargado de electricidad y un objeto **neutro** está en que **el objeto no cargado**:

- a) Posee partículas cargadas que no están excitadas, poseen poca energía y apenas se mueven.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- b) Posee igual número de partículas cargadas de signo «+» que partículas cargadas de signo «-».
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- c) No posee cargas eléctricas (ni «+» ni «-») aparecerían al crearlas mediante una electrización.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- d) Posee el mismo número de partículas eléctricas que el objeto cargado pero en el neutro están entremezcladas.
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo
- e) La explicación que escribiste (si es que elegiste esta opción).
 Total acuerdo Bastante de acuerdo Algo de acuerdo Indeciso En desacuerdo

ANEXO II

Matriz parcial de coexistencia de concepciones sobre los conceptos: de «cargado» y «neutro».

CARGADO					NEUTRO																			
Test 52%					Retest 48%				Postest 23%				Test 44%				Retest 36%				Postest 6%			
a*	b	c	d		a*	b	c	d	a*	b	c	d	a	b*	c	d	a	b*	c	d	a	b*	c	d
1	5	1	1	1	1	4	3	3	1	3	5	1	3	5	1	3	1	5	1	1	1	5	1	1
2	1	5	1	1	1	3	5	1	5	1	1	1	5	3	1	1	3	1	1	1	1	5	1	1
3	3	4	4	1	2	3	4	1	5	1	1	1	3	3	1	4	2	3	1	3	1	5	1	1
4	1	2	2	5	4	0	0	0	5	1	1	1	4	4	2	1	3	0	0	0	1	5	1	1
5	2	3	2	3	2	2	4	1	5	1	1	1	2	3	3	1	2	4	3	2	1	5	1	1
6	1	1	4	3	2	1	4	1	5	1	1	1	1	2	4	1	2	3	3	2	1	5	1	1
7	1	3	5	2	1	2	4	2	5	1	1	1	3	3	1	4	2	2	1	3	1	4	1	1
8	2	5	3	4	4	3	3	2	5	2	1	1	5	4	1	1	2	4	1	2	1	5	1	2
9	1	2	1	5	1	2	3	2	5	1	4	1	2	4	2	1	2	2	2	4	1	5	1	1
10	2	3	4	2	1	3	4	2	5	3	3	1	3	5	3	2	2	3	1	3	2	4	1	2
11	1	4	1	1	2	2	2	3	4	1	2	2	0	4	0	0	1	4	1	1	1	4	1	1
12	3	4	3	1	3	2	4	1	5	3	1	3	2	5	1	3	3	3	1	4	1	5	1	3
13	3	4	2	4	5	3	3	2	4	3	2	2	3	1	4	2	3	2	5	2	2	3	3	2
14	5	1	3	1	4	1	3	1	5	1	1	1	1	4	1	2	1	5	1	5	1	5	1	2
15	2	2	5	1	1	1	5	1	5	1	1	1	1	2	1	5	1	1	1	5	1	5	1	1
16	3	4	3	3	2	3	4	2	5	1	1	1	3	2	2	1	3	3	1	4	1	5	1	1
17	2	0	0	0	4	1	2	3	5	1	1	1	3	4	2	2	1	4	1	3	1	5	1	1
18	1	4	1	1	3	3	1	2	5	1	1	1	3	2	1	2	3	2	2	1	1	4	1	1
19	4	2	2	1	4	2	1	1	4	1	1	1	3	4	1	2	2	4	1	1	1	4	1	2
20	2	2	1	4	1	1	4	1	5	1	1	1	2	4	1	1	1	4	1	1	1	5	1	1
21	3	4	3	2	2	1	4	2	5	1	1	2	2	5	2	2	2	4	2	2	1	5	1	1
22	4	5	3	2	1	3	3	2	5	3	1	4	3	5	1	3	1	5	1	1	1	5	1	1
23	1	1	5	1	2	2	4	2	5	1	1	1	1	3	5	1	1	4	2	1	1	5	1	1
24	4	1	2	2	2	1	4	1	1	1	5	1	2	4	2	1	1	5	2	1	1	5	1	1
25	1	2	2	1	1	2	2	1	5	1	1	4	1	1	4	1	2	4	1	2	1	5	1	1
26	2	1	5	2	1	1	5	2	5	1	1	1	2	1	1	4	1	2	1	4	1	4	1	2
27	5	3	1	3	3	2	4	2	5	1	1	3	2	4	1	1	4	2	1	2	1	4	1	1
28	1	2	3	1	1	2	4	1	5	1	1	1	2	1	3	1	2	3	1	1	1	5	1	1
29	2	5	5	5	4	3	1	2	5	3	3	1	1	4	1	2	3	4	2	1	3	5	1	1