

SOBRE LOS RECURSOS COGNITIVOS EN PENSADORES NO-NEWTONIANOS

Badagnani, Daniel¹; Petrucci, Diego² y Cappannini, Osvaldo³

¹ Facultad de Ciencias Exactas, UNLP, ² Facultad de Ciencias Exactas, UNLP y CeFIEC, FCEN, UBA, ³
Facultad de Ciencias Exactas, UNLP y CONICET.

daniel@fisica.unlp.edu.ar

RESUMEN

Se encuestó a un grupo de 350 estudiantes universitarios sin instrucción en física empleando el Inventario del Concepto de Fuerza (Force Concept Inventory) y se estudió el patrón de respuestas por sentido común. Se encontró que las respuestas compatibles con la mayoría de las nociones alternativas del inventario del FCI se distribuyen como si la encuesta se hubiera llenado al azar. Se argumenta que esto puede deberse a que para generar explicaciones se emplean recursos cognitivos diferentes a los usados para hacer predicciones.

Palabras clave: nociones alternativas, Inventario de Concepto de Fuerza, estructura cognitiva.

ABSTRACT

A group of 350 young adults without formal university physics instruction were polled using the Force Concept Inventory, and the resulting pattern of common sense answers studied. We found that the distributions of most of the answers compatible with the “misconceptions” catalogued in the FCI looks like a randomly filled poll. It is argued that this might be due to a separation in the cognitive resources employed in predictions and explanations.

Keywords: misconceptions, Force Concept Inventory, cognitive structure.

INTRODUCCIÓN

Se sabe desde hace tres décadas que antes de la instrucción formal, al hacer predicciones sobre fenómenos mecánicos, damos respuestas incompatibles con la dinámica newtoniana, pero que estas respuestas no son al azar. Más aún, tenemos un conjunto acotado de representaciones sumamente resistentes a la instrucción (Driver y cols, 1978; Viennot, 1979; McCloskey, 1983; Vosniadou, 1994). Sin embargo, estamos lejos de llegar a un acuerdo respecto de la naturaleza de la estructura cognitiva de esa física de ideas previas, así como de su evolución durante la instrucción. Una comprensión más profunda de las estructuras, tanto las de pensadores de sentido común (usando la terminología de Vosniadou, diSessa y Hestenes) como de “newtonianos” (en terminos de Hestenes y cols., 1992a) es precondition para avanzar en el conocimiento sobre cómo éstas se reestructuran, lo que a su vez puede dar pautas importantes para la enseñanza.

En este trabajo vamos a concentrarnos en dos marcos teóricos rivales con los que interpretar nuestros resultados. Uno es una versión actual del cambio conceptual tal como es sostenido por Vosniadou. Según esta perspectiva la “física ingenua”^I empleada en predicciones y explicaciones tiene una estructura similar a la de una teoría científica, salvo por ciertas falencias metodológicas (Vosniadou, 2002; Vosniadou, 2003; Vosniadou, 2007). El aprendizaje ocurriría entonces por modificaciones de esas estructuras teóricas o por su reemplazo por otras nuevas. Vosniadou admite que pueden cambiar las características de las estructuras, las ontologías y los compromisos epistemológicos, y también se adquieren ciertas sutilezas metodológicas como la conciencia metaconceptual (metaconceptual awareness). La “física ingenua” es cuasicientífica en el sentido de que hay principios, una red de conceptos y un sentido de causalidad. La otra perspectiva, más propia del procesamiento de la información y la inteligencia artificial y sostenida por diSessa (1993, 2008), considera que la “física ingenua”^{II} es de naturaleza esencialmente ateorica (en el sentido de que no se cuenta con un sistema de conceptos organizado) y resulta de una generalización relativamente inmediata y poco problemática de eventos comunes: las llamadas “primitivas fenomenológicas”. El aprendizaje consistiría entonces en la jerarquización de esas primitivas, cuyo agrupamiento sería el sustento de los principios que los rigen (diSessa, 1993). Se habla entonces de una polémica entre “coherencia” y “conocimiento en piezas” (diSessa, 2008).

^I Vosniadou llama “física ingenua” al sistema de ideas previas físicas.

^{II} DiSessa usa esa expresión, así como “física del sentido común” o “física intuitiva” para referirse al sistema de ideas previas físicas.

Pensamos contribuir a este debate utilizando como instrumento al Force Concept Inventory (FCI), el inventario conceptual más popular y más profusamente validado (Hestenes y cols., 1992a; Halloun y cols., 1985a; Halloun y cols., 1985b), usado principalmente para evaluar el aprendizaje de conceptos en cursos de física clásica (Hake, 1998). Esta encuesta consiste en problemas cualitativos en que se pide una predicción, y las alternativas a la respuesta newtoniana son las que suelen aparecer en entrevistas, justificadas a partir de concepciones alternativas bien conocidas. Si bien la primer intención de los autores fue “detectar” con el instrumento el uso de esas concepciones (Hestenes y cols., 1992a) esta posibilidad fue fuertemente cuestionada, hasta que los propios autores empezaron a aludir a las alternativas como “powerfull distractors”, y la encuesta es hoy considerada un modo de determinar en qué medida el encuestado ha incorporado la concepción newtoniana de fuerza (Huffman y col., 1995; Hestenes y col., 1995; Heller y col., 1995; Halloun y col., 2000).

Si miramos la encuesta tanto desde la perspectiva del cambio conceptual como de la del procesamiento de la información, lo que está en cuestión es la legitimidad de las concepciones alternativas empleadas en la elaboración del FCI. En favor de tal legitimidad está, por supuesto, la gran cantidad de datos empíricos acumulados en entrevistas desde los inicios del movimiento de investigación sobre ideas previas: ciertas respuestas de sentido común aparecen sistemáticamente, como si existiesen “teorías ingenuas”. En contra aparece la abundante evidencia de que una misma persona hace predicciones y razonamientos en problemas diferentes de una manera que, analizada desde la racionalidad científica, aparece como inconsistente (por ejemplo, una misma persona que predice que una bomba soltada por un avión cae verticalmente puede predecir que una trucha soltada por un águila caerá en forma oblicua. Vease por ejemplo Stewart y cols., 2007). Stewart y cols. (2007) hablan en este caso de “conocimiento incierto”. Bao y col (2006) habla de “probabilidad de activación” de los diversos esquemas conceptuales, dependiendo del contexto. Desde el punto de vista del procesamiento de la información esto tiene una interpretación más sencilla, dado que allí no hay teorías y por lo tanto no hay necesidad de consistencia. Simplemente los estímulos activarán determinada “primaria fenomenológica”.

Si bien el uso que le damos al FCI no es el estándar, por la forma en que se lo diseñó y el tipo de validaciones a las que fue sometido permite, haciendo uso de un análisis original, explorar el tipo de herramientas cognitivas empleadas por los estudiantes en las predicciones físicas usando ideas previas. Dado que la FCE-UNLP emplea el FCI como herramienta de seguimiento, se cuenta con una gran cantidad de datos disponibles para analizar.

METODOLOGÍA Y RESULTADOS

El FCI fue administrado a 352 estudiantes ingresantes a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. A este grupo le llamaremos CIBEX, por ser ése el nombre que recibe el grupo de cursos al que pertenecen los estudiantes. Se trata de jóvenes de clase media, casi todos muy exitosos en sus estudios previos, y en esa instancia muy motivados y entusiastas. Por otra parte la inmensa mayoría tuvo una exposición mínima a la física en su instrucción secundaria y no tiene un interés directo en esta disciplina (son estudiantes de las Licenciaturas en: Farmacia, Química, Bioquímica, Biotecnología y Biología Molecular, Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Química y Tecnología Ambiental y en Óptica Ocular y Optometría). Los encuestados respondieron en forma entusiasta y comprometida y posteriormente mostraron curiosidad por saber cuán bien habían respondido. Con fines comparativos, consideramos otra muestra: una serie de 1000 encuestas llenadas al azar con un programa informático. A este grupo lo llamaremos AZAR y resulta útil para establecer comparaciones, pues podemos garantizar que estas “respuestas” han sido dadas sin acudir a conceptos de ningún tipo.

Las respuestas fueron sometidas a pruebas de calidad de datos. Descartamos dos encuestas por haber sido llenadas sin compromiso (en una todas las respuestas eran “A” y en otra formaban un patrón simétrico). Para las demás (350) se hizo la distribución por preguntas (mostrada en Tabla 1), y se vio que, como esperábamos, estaban lejos de haber sido contestadas al azar. En la Tabla 1 se muestra la misma distribución para los primeros 350 sujetos simulados de AZAR (para usar muestras del mismo tamaño y poder comparar las varianzas), viéndose que todas las preguntas menos dos son “elegidas” por una porción entre el 15% y el 25% (la esperanza es 20% pues son cinco opciones por pregunta). En la muestra CIBEX, en cambio, ninguna pregunta tiene todas sus opciones en esa banda, y sólo dos tienen todas las opciones entre el 10% y el 30%. Es decir que en todas las preguntas en la muestra CIBEX hay opciones claramente preferidas, o rechazadas, o ambas cosas.

**“Sigamos Investigando para Enseñar mejor Física” - SIEF XI
Esquel, Chubut, Patagonia - Octubre de 2012**

Preg.	CIBEX					AZAR				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	12	4,6	61,4	14,6	5,7	23,1	17,1	18,3	20,8	20,6
2	27,1	13,7	4,8	42,3	6,8	17,7	18,6	17,7	22,6	23,4
3	12	34	34,3	7,7	10,3	19,7	17,4	21,7	18,8	22,3
4	56,6	3,7	3,4	5,4	29,4	18,8	16,6	19,1	23,7	21,7
5	5,4	13,4	46	15,4	15,1	22	16,8	19,1	19,1	22,8
6	40,8	52,3	2,3	2	1,7	22	18,6	21,1	16,8	21,4
7	26,3	46,3	6,8	11,4	8,2	20	23,1	21,4	17,4	18
8	1,7	44	33	9,4	10,8	18,3	19,4	17,4	19,4	25,4
9	10,8	33,4	44,9	7,4	2	18,3	19,4	17,4	19,4	25,4
10	34,8	21,7	6,8	34,3	0,8	24,3	16,8	21,4	18,6	18,8
11	18,6	16	50	12	2,5	15,7	24	22,8	18	19,4
12	31,1	12	40,8	10,6	2,9	22,8	24	20,3	17,4	15,4
13	59	9,7	3,7	14,6	10,6	18	19,4	21,4	20	15,4
14	6,9	12	34,6	17,7	27,1	18,6	19,43	22,3	20,8	18,8
15	22	7,4	7,1	37,4	17,4	18,6	21,1	20,6	17,7	22
16	24,3	13,7	20,8	16,8	14,6	19,4	19,4	17,1	22,3	21,1
17	11,4	40	20,8	6,8	12,8	20	19,7	19,1	20,6	20,6
18	34,3	23,1	7,7	20,8	6,6	23,4	18,3	21,7	24	12,6
19	21,4	13,4	23,4	26	5,4	24	23,4	17,4	16,3	18,8
20	37,4	11,1	22	10,3	9,4	17,4	18,8	24,6	18,8	20,3
21	10,8	25,4	10	21,4	22,6	18,8	18,6	19,7	20,8	22
22	28	23,7	9,4	16,3	8,3	20,8	16,8	20,8	23,4	18
23	30	14,3	30,6	8,3	2,8	21,1	20	18,6	19,1	21,1
24	8,3	19,7	10,3	27,4	18,2	16	20	23,1	17,4	23,4
25	32,6	20	4,8	12,3	12	17,4	21,1	19,7	21,7	20
26	6,8	15,4	13,4	8	35,1	22,8	22	19,1	18,2	17,7
Más de 30%	Entre 25 y 30%		Entre 15 y 25%			Entre 10 y 15%		Menos de 10 %		

Tabla 1: Comparación de los porcentajes de respuestas entre la muestra CIBEX (izquierda) y los primeros 350 "sujetos" de AZAR (derecha). La esperanza para la muestra al azar es 20%. Los colores indican el rango de valores para cada dato de acuerdo a la referencia al pie de la tabla.

Nociones newtonianas

En primer término analizamos la distribución de respuestas “newtonianas” (es decir, las compatibles con la mecánica). En la Figura 1 se muestra esa distribución en forma de histograma para CIBEX y AZAR.

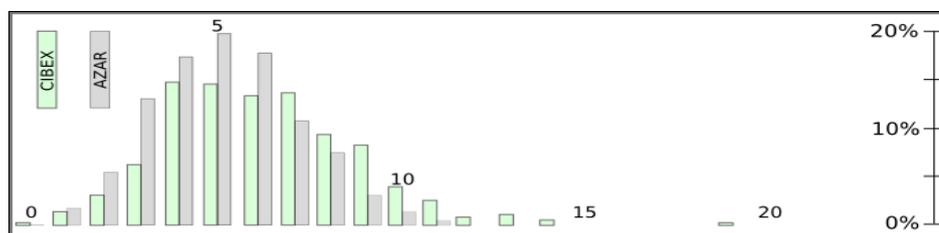


Figura 1: Fracción de encuestados como función del número de respuestas newtonianas (entre un total de 26) para las encuestas generadas al azar (AZAR) y la población estudiada (CIBEX).

Comparando CIBEX con AZAR se ve que ambas distribuciones son muy similares. Ello no significa que CIBEX es estadísticamente indistinguible de AZAR, sino que son llamativamente similares. Esto a primera vista resulta un tanto sorprendente dado que, como se argumentó en la sección anterior, los encuestados no respondieron en absoluto en forma azarosa. Además, se sabe de las numerosas y exhaustivas validaciones del Inventario del Concepto de Fuerza que los estudiantes entrevistados suelen responder igual que en la encuesta y que sus justificaciones -en su abrumadora mayoría- corresponden a la clasificación de nociones alternativas dada en Hestenes y cols. (1992a). Este resultado está indicando que en esta muestra la mayoría de las respuestas newtonianas son escogidas por razones no newtonianas.

En los trabajos de validación del Inventario del Concepto de Fuerza se muestra claramente que cuando el grupo estudiado está conformado por físicos con probado dominio de la mecánica, el patrón de respuestas no luce en absoluto azaroso: virtualmente el 100% responde la totalidad de las preguntas de acuerdo con la teoría newtoniana (Hestenes y cols. 1992a).

Los resultados presentados en la Figura 1 evidencian que para la gran mayoría de los individuos de la muestra estudiada, las ideas newtonianas no constituyen -ni siquiera parcialmente- una parte relevante de su organización cognitiva. Esto garantiza que se trata de una población con una abrumadora mayoría de pensadores “intuitivos”^{III} o “ingenuos”^{IV} desde el punto de vista de la física. Por eso los consideramos un grupo excelente para estudiar la estructura cognitiva propia de ese pensamiento, del que son propias las llamadas “nociones alternativas”.

Nociones alternativas

Las validaciones del FCI con entrevistas dieron como resultado que la inmensa mayoría de quienes eligen un “distractor” no newtoniano justifica su elección con argumentos compatibles con el correspondiente ítem de la taxonomía de nociones alternativas compilada en Hestenes y cols. (1992a). Esto significa que esas nociones constituirían la perspectiva de los encuestados. Veamos qué predicciones podemos hacer para el patrón de tales respuestas desde los marcos teóricos del cambio conceptual coherentista y del conocimiento en piezas. De constituir estas nociones un sistema teórico consistente desde una perspectiva científica, quienes sostengan una determinada noción deberían optar consistentemente por todas las respuestas compatibles con ella. Sin embargo se sabe que la misma persona puede sostener nociones incompatibles entre sí al responder problemas diferentes -“context dependence” (Stewart y cols., 2007)- por lo que el patrón de respuestas no sería tan nítido: quien “cree” en la noción alternativa en un contexto puede no hacerlo en otro, entonces no contestará todas las preguntas compatiblemente con la noción alternativa. Aún así no hay razón para esperar un patrón azaroso: se trataría de una coincidencia extraordinaria. En el marco del “conocimiento en piezas” sostenido por diSessa (1993) el conocimiento físico del sentido común no está en absoluto organizado según conceptos. De ser este el caso, la noción alternativa no funcionaría como una guía hacia la respuesta, pues esta vendría de recursos cognitivos más básicos que el pensamiento mediado por el lenguaje. Si las nociones alternativas no funcionaran como un principio teórico esperaríamos un patrón azaroso de respuestas. Sería análogo al caso de respuestas newtonianas, donde interpretamos que el patrón azaroso observado se debía a que los estudiantes no basan sus respuestas en los principios de la física newtoniana. Esto nos da un criterio de contrastación de estas teorías a partir de un análisis del FCI: un patrón que difiera del azaroso sería más esperable según el modelo de Vosniadou y uno más similar al azaroso según diSessa.

III En la terminología de diSessa.

IV En la terminología tanto de diSessa como de Vosniadou.

Para estudiar esta cuestión comparamos la distribución de respuestas compatibles con cada noción alternativa de la taxonomía con la distribución que surge de la muestra generada al azar. En la Tabla 2 mostramos, para cada noción de la taxonomía (los identificadores K1, K2, etc. son los mismos que usan Hestenes y cols. (1992a)) la cantidad de respuestas compatibles con la idea, la cantidad promedio de respuestas compatibles en las muestras CIBEX (NCIBEX) y AZAR (NAZAR) y la diferencia entre estos promedios normalizada por su error (“Diferencia Normalizada”, DN). El error se calculó estimando la varianza asumiendo una distribución binomial y dividiendo esa varianza por la raíz cuadrada del número de encuestados. Consideramos a esta cifra como una estimación de la varianza del promedio de respuestas. DN se definió entonces como la razón entre la diferencia entre ambos promedios y la suma de dos veces las varianzas estimadas:

$$DN = \frac{\{N_{CIBEX}\} - \{N_{AZAR}\}}{2\sigma_{CIBEX} + 2\sigma_{AZAR}} \quad (1)$$

Consideramos distinguibles las distribuciones cuando la diferencia normalizada es mayor que 1 en valor absoluto (o sea, cuando los intervalos de confianza de dos desviaciones estándar para ambos promedios no alcanzan a tocarse). Obsérvese que una DN positiva indica una propensión en la muestra a optar por la noción alternativa por encima de la muestra al azar, mientras que un signo negativo indica lo contrario. Cada noción alternativa fue marcada con colores de acuerdo al valor de DN: azul para diferencias mayores a dos, celeste para diferencias entre uno y dos, blanco para diferencias no significativas (entre -1 y 1), naranja para diferencias entre -1 y -2 y rojo para diferencias menores a -2.

En la Figura 2 se muestran los histogramas correspondientes, cada etiqueta de noción alternativa es del color asignado en la Tabla 1. Aquí puede verse la pertinencia del criterio de separación. Cabe aclarar que, si bien este criterio emplea nociones estadísticas, no buscamos obtener una conclusión estadística acerca de la indistinguibilidad de las distribuciones. Como ya discutimos, tenemos evidencia de que las respuestas no ocurren al azar. El criterio se estableció para determinar la similaridad entre las muestras sobre una base no arbitraria.

Lo que se aprecia en primer término es que alrededor de la tercera parte de las nociones alternativas son escogidas en patrones muy próximos a las respuestas al azar (las filas blancas en la Tabla 2). Además se observa que las desviaciones realmente notables respecto de la muestra al azar ocurren para las ideas ausentes -marcadas con rojo (ver también la columna “diferencia normalizada” en la Tabla 2)- resultado esperable dado que se trata de una población adulta y varias de estas nociones se observan más habitualmente en niños y adolescentes. En cambio, ninguna de las nociones alternativas aparece consistentemente elegida pues típicamente sólo una o dos preguntas son respondidas compatiblemente con la noción correspondiente y en ningún caso la diferencia por encima de la muestra al azar es grande: en los histogramas de la Figura 2, los porcentajes de tres o más respuestas compatibles con la noción son muy bajos en comparación con la moda. Por lo tanto, al igual que en el caso de las respuestas newtonianas, estas nociones parecerían jugar un rol mínimo o nulo en el proceso de decisión por una respuesta.

NOCIÓN ALTERNATIVA	Número de respuestas compatible	Promedio de respuestas		Diferencia normalizada (DN)
		CIBEX	AZAR	
K1: Posición-velocidad no discriminadas	1	0,52	0,8	-0,79
K2: Velocidad y aceleración no discriminadas	2	0,56	0,59	-0,3
K4: Marco de referencia egocentrado	1	0,56	0,42	1,64
I1: Ímpetu suministrado por “golpe”	3	1,42	1,38	0,27
I2: Pérdida/recuperación del ímpetu original	3	0,68	0,76	-0,61
I3: Disipación del ímpetu	6	2,11	2,17	-0,31
I4: Formación gradual/retardada de ímpetu	4	0,23	0,78	-5,57
I5: Ímpetu circular	3	1,68	1,23	3,1
AF1: Sólo agentes activos ejercen fuerzas	7	0,95	1,34	-2,41
AF2: Movimiento implica fuerza activa	2	1,06	0,81	2,04
AF3: Ausencia de movimiento implica ausencia de fuerzas	1	0,12	0,19	-1,28
AF4: Velocidad proporcional a fuerza activa	2	0,61	0,43	1,72
AF5: Aceleración implica fuerza en aumento	1	0,34	0,2	1,79
AF6: Fuerza implica aceleración hasta velocidad límite	3	0,48	0,61	-1,16
AF7: La fuerza activa se gasta	1	0,14	0,36	-3,3
CI1: La mayor fuerza determina el movimiento	2	0,96	0,61	2,97
CI2: Compromiso entre fuerzas determina el movimiento	6	0,35	1	-5,45
CI3: Última fuerza que actúa determina el movimiento	2	0,62	0,39	2,25
AR1: Mayor masa implica mayor fuerza	4	1,14	0,99	0,99
AR2: Agente más activo produce mayor fuerza	3	1,16	0,61	4,1
CF: Fuerza centrífuga	4	0,73	1,55	-5,7
OB: Los obstáculos no ejercen fuerzas	6	0,52	1,16	-4,77
R1: La masa hace que las cosas se detengan	1	0,44	0,42	0,25
R2: El movimiento ocurre cuando la fuerza vence a la resistencia	2	0,8	0,8	0,06
R3: Resistencia se opone a la fuerza/ímpetu	2	0,23	0,2	0,45
G1: Gravedad asistida por la presión del aire	3	0,4	0,81	-3,63
G2: Gravedad intrínseca a la masa	2	0,09	0,39	-4,55
G3: Objetos más pesados caen más rápido	2	0,67	0,6	0,6
G4: La gravedad aumenta mientras los objetos caen	2	0,66	0,39	2,58
G5: La gravedad actúa después de que el ímpetu se gasta	3	0,43	0,58	-1,36
DN < -2	-2 < DN < -1	-1 < DN < 1	1 < DN < 2	DN > 2

Tabla 2: Respuestas correspondientes a nociones alternativas para CIBEX y AZAR. La primer columna indica la cantidad de respuestas posibles en el Inventario del Concepto de Fuerza compatibles con la noción. Las siguientes dos columnas muestran la cantidad promedio de respuestas compatibles para cada población. La última columna muestra la razón entre la diferencia de promedios y el error. Los colores fríos indican que los sujetos CIBEX eligen la noción alternativa con menor frecuencia que AZAR, mientras que los cálidos señalan lo contrario (según referencias debajo de la tabla).

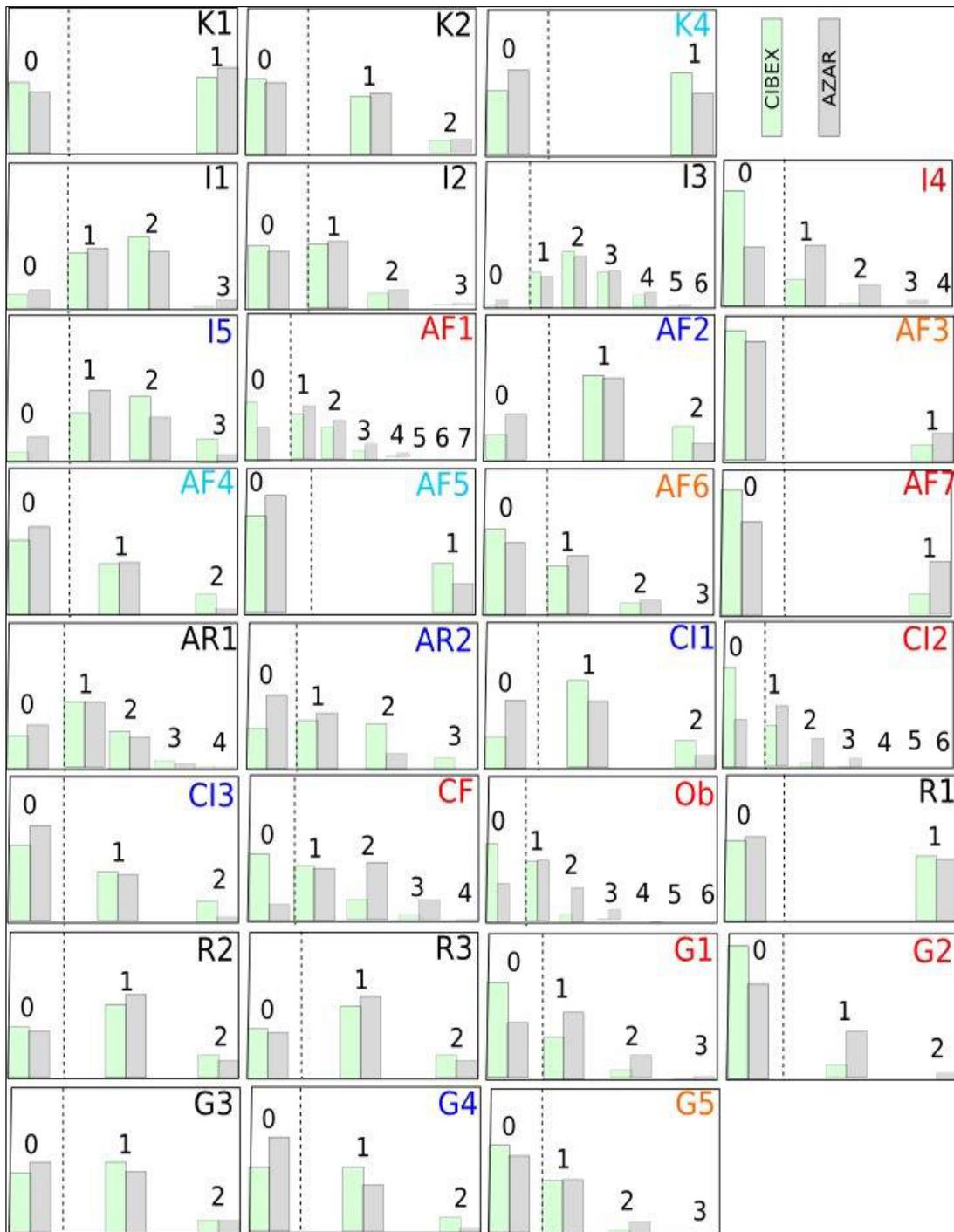


Figura 2.- Histogramas de respuestas compatibles con cada una de las nociones alternativas de la Tabla 2. Los colores de los nombres de cada idea se corresponden con los de aquella tabla. La altura de cada recuadro corresponde al 100% de la población. Cada barra muestra el porcentaje de la población que respondió un número de preguntas (indicado arriba) compatiblemente con la noción alternativa. Se separó con una línea punteada la barra correspondiente a ninguna respuesta compatible con la noción alternativa.

CONCLUSIONES

Nuestros datos muestran que en grupos sin instrucción física formal universitaria el patrón de respuestas es notablemente parecido al que se obtiene si las preguntas se contestaran al azar, pese a que los estudiantes no responden de ese modo, meditan sus respuestas y las confirman en entrevistas. Esto implicaría que aún las pocas respuestas newtonianas que aparecen son elegidas por razones no newtonianas, lo que se explica del siguiente modo. La distribución al azar parece señalar que las respuestas newtonianas o bien no serían seleccionadas por razones en absoluto (lo cual es difícil de argumentar), o bien que si hubiera razones de algún tipo estas no se correlacionarían con la perspectiva newtoniana. Solo al considerar el resultado de las entrevistas podemos afirmar que virtualmente siempre se aduce alguna razón (no newtoniana) al responder las preguntas del FCI. Si hubiese concepciones newtonianas en la población, el patrón de respuestas newtonianas no podría lucir azaroso, como sí se esperaría para una población de pensadores “no newtonianos”.

Por otro lado no se observan patrones claros de ideas no newtonianas según la taxonomía en que se basa el Inventario del Concepto de Fuerza. Alrededor de la tercera parte de las ideas indicadas en la Tabla 2 (las marcadas en blanco: K1, K2, I1, I2, I3, AR1, R1, R2, R3 y G3) muestran en los histogramas (Figura 2) una distribución muy similar a la correspondiente a la muestra generada al azar. Las que se encuentran claramente por encima de la muestra al azar (I5, AF2, CI1, CI3, AR2 y G4) en los histogramas no aparecen consistentemente elegidas: la probabilidad de elegir tres o más respuestas es en todos los casos mucho menor que la máxima. Esto significa que aún en los histogramas que más difieren de una distribución al azar no hay ninguno de alta coherencia en el empleo de una noción alternativa en diversos contextos. En cambio, se aprecian varios histogramas (I4, AF7, CF, Ob, G1 y G2) que muestran un rechazo consistente de sus correspondientes ideas previas: el número de respuestas compatibles se encuentra muy por debajo de la muestra al azar.

Estos resultados parecen contradecir las numerosas validaciones del FCI. Para entender por qué éste resulta un problema tan serio, imaginemos que hacemos lo siguiente: entrevistemos a la población encuestada, y dado que ha elegido cierta respuesta (la 14 C, por ejemplo) volquemos en un histograma la fracción de encuestados que eligió cada noción alternativa para justificar esa respuesta (agregando “otras” como posibilidad). De acuerdo a las validaciones del Inventario del Concepto de Fuerza citadas anteriormente, el patrón no luciría en absoluto aleatorio: mayoritariamente, cada respuesta dada se elegiría de acuerdo a su noción alternativa catalogada. Sin embargo aún queda por explicar por qué los estudiantes confirman sus respuestas en entrevistas (Hestenes y cols, 1992a; Halloun y cols., 1985a), aún aquellas que aparecen como contestadas al azar, aduciendo las razones catalogadas en la taxonomía del Inventario del Concepto de Fuerza. Al tener en cuenta esto último conjuntamente con nuestros resultados surge como posible que la noción alternativa no sea previa a la elección de una respuesta (no estaría guiando el razonamiento de los encuestados) sino a la inversa: la solución puede estar orientando la búsqueda de la explicación a posteriori. En este sentido es que continuaremos la investigación. Esta posibilidad podría ser relevante al intentar interpretar las dificultades que surgen en las propuestas de enseñanza por conflicto cognitivo: por más que “falseemos” las afirmaciones de un “pensador ingenuo” con razonamientos o experimentos, solo lograremos modificar su percepción respecto del caso mostrado. Las categorías conceptuales introducidas por esta vía no podrán ser transferidas a otros contextos si la resolución de problemas no es guiada por las categorías conceptuales del sujeto. Observemos que esta es una crítica que se ha hecho precisamente desde el campo del “conocimiento en piezas” (véase Vosniadou 2002, sección 2). No descartamos la existencia de algún nivel de conceptualización (científica o no) en los casos de respuestas preferidas o suprimidas respecto de la muestra al azar, pero si lo hubiera, no sería preponderante en el proceso de resolución de problemas como los del Inventario del Concepto de Fuerza. Queda entonces abierta la pregunta acerca de qué es lo que guía a los estudiantes pensadores por sentido común hacia el patrón de respuestas restringido que llevó a la formulación del concepto de nociones alternativas.

Quisiéramos en este punto hacer una reinterpretación del artículo de Huffman y col. (1995), que puede ser visto más como una investigación sobre la naturaleza de las nociones alternativas que como una crítica hacia el Inventario del Concepto de Fuerza. Su conclusión central es que el Inventario del Concepto de Fuerza no mide una conceptualización coherente del concepto de fuerza pero, en su discusión, alude al posible carácter fragmentario del conocimiento por sentido común citando a diSessa (1993) y Minstrell (1991). Desde esta perspectiva, sin embargo, si el Inventario del Concepto de Fuerza no identifica conceptualizaciones consistentes de fuerza, la falla no debería asignarse al Inventario del Concepto de Fuerza sino al propio sistema cognitivo. En ese sentido, el presente trabajo confluye con las hipótesis de Huffman y col. (1995) para pensadores poco newtonianos. Halloun y col. (2000), quienes se concentran en pensadores newtonianos o casi newtonianos, plantearon serias objeciones a la validez del análisis de factores para tratar los datos surgidos del Inventario del Concepto de Fuerza. Nuestro trabajo retoma el problema de la búsqueda de coherencia pero desde otra perspectiva. Nuestros resultados apoyan la concepción de que las nociones “alternativas” no serían realmente alternativas a los conocimientos científicos, pues estos guían el pensamiento hacia la solución de los problemas mientras que no parece ocurrir lo mismo para la mayoría de las nociones alternativas catalogadas. En cambio, nuestros resultados son compatibles con que las predicciones ocurren como si las ideas previas correspondiesen a un “conocimiento en piezas”.

Nos encontramos ante una paradoja. Por un lado existe buena evidencia de que interpretamos desde la infancia a los fenómenos físicos con una red de conceptos relativamente organizada (Ioannides y col., 2002), y por otro parece que hacemos predicciones de un modo casi azaroso. Esta aparente paradoja puede resolverse si suponemos que las predicciones y las explicaciones de pensadores no-newtonianos usan recursos cognitivos diferenciados. Según esta hipótesis las preguntas del FCI se responderían activando una “primaria fenomenológica” o algo análogo, sin intervención de esquemas teóricos, pero esa respuesta sería justificada a posteriori con los esquemas más teóricos que dan cuenta de los patrones de respuestas típicos en entrevistas. Semejante separación debería implicar a su vez que un “físico ingenuo” deberá usar criterios de validación de sus respuestas bastante diferentes a las usadas por un “pensador newtoniano”, lo cual tiene implicancias en cuanto a los compromisos ontológicos y epistemológicos de los primeros (Pozo y cols., 1998). En este sentido continuamos nuestras investigaciones, apuntando a profundizar las cuestiones pendientes mediante entrevistas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo recibe el apoyo de la Secretaría Académica de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata. Esta investigación se enmarca en el PIP 03032 de CONICET y por el proyecto de investigación “Perspectivas históricas y del presente en las representaciones de la materia y sus interacciones en estudiantes y cursos de la UNLP”, acreditado ante la Universidad Nacional de La Plata.

REFERENCIAS

- Bao, L. and Redish, E. F. (2006). Model Analysis: Representing and assessing the Dynamics of Student Learning. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2 (1), pp. 1-16.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 2/3, pp. 105-225.
- diSessa, A. (2008). *A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy (From the "Pieces" Side of the Fence)*; International Handbook of Research on Conceptual Change (ed Stella Vosniadou).
- Driver, R. and Easley, J. (1978). Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. *Studies in science education*, 5, pp. 61-84.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 1, pp. 64-73.
- Halloun, I. and Hestenes, D. (1985a). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53, pp. 1043-1055.
- Halloun, I. and Hestenes, D. (1985b). Common-sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53, pp. 1056-1065.
- Halloun, I. and Hestenes, D. (2000). The search for conceptual coherence in FCI data (Unpublished manuscript). In: <http://modeling.asu.edu/R%26E/CoherFCI.pdf>.
- Heller P. and Huffman, D. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory, A Reply to Hestenes and Halloun. *Physics Teacher*, 33, pp. 503-511.

- Hestenes, D., Wells, M. and Swackhamer, G. (1992a). Force Concept Inventory. *Physics Teacher*, 30, pp. 141-158.
- Hestenes, D. and Wells, M. (1992b). A Mechanics Baseline Test. *Physics Teacher*, 30, pp. 159-166.
- Hestenes, D. and Halloun, I. (1995). Interpreting the Force Concept Inventory. A response to March 1995 Critique by Huffman and Heller. *Physics Teacher*, 33, pp. 502-506.
- Huffman and Heller, P. (1995). What Does the Force Concept Inventory actually measure? *Physics Teacher*, 33, pp. 138-143.
- Ioannides, C. and Vosniadou, S. (2002). The Changing Meanings of Force. *Cognitive Science Quarterly*, 2, 1, pp. 5-62
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D Gentner and A. L. Stevens (Eds.), *Mentalmeanings*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.Á. (1998). *El aprendizaje de conceptos científicos: Del aprendizaje significativo al cambio conceptual*. Capítulo IV de *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Stewart, J., Griffin, H. and Stewart, G. (2007). Context sensitivity in the Force Concept Inventory. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 3, 1, 010102(6).
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education*, 1, 2, pp. 205-225.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, pp. 45-69.
- Vosniadou, S. (2002). On the Nature of Naïve Physics, reconsidering conceptual change: issues in theory and practice, 2002, Part I, 61-76, DOI: 10.1007/0-306-47637-1_3
- Vosniadou, S (2003). *Exploring the Relationships between Conceptual Change and Intentional Learning*, G.M. Sinatra and P.R. Pintrich (Eds). *Intentional Conceptual Change*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 2003.
- Vosniadou, S. (2007). The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change. *Educational Psychologist*, 42, 1, pp. 55-66.