

## Informe general de la asignatura de mayo de 2015

### Física (zona horaria 2)

Para proteger la integridad de los exámenes, se están utilizando cada vez más variantes distintas de los exámenes según la zona horaria en la que se realicen. Al recurrir a variantes del mismo examen, los alumnos ubicados en una parte del mundo no estarán respondiendo al mismo cuestionario de examen que los alumnos ubicados en otras partes del mundo. Se aplica un proceso riguroso para garantizar que las pruebas sean comparables en lo que respecta a su dificultad y a la cobertura del programa de estudios, y se toman las medidas pertinentes para garantizar que se apliquen las mismas normas de calificación a todos los exámenes escritos de los alumnos, independientemente de cuál haya sido la versión del examen a la que hayan respondido. Para la convocatoria de exámenes de mayo de 2015, el IB ha elaborado variantes de las pruebas 1, 2 y 3 del NM y el NS de Física para las distintas zonas horarias.

### Límites de calificación de la asignatura

#### Nivel Superior

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–17	18–32	33–44	45–53	54–63	64–72	73–100

#### Nivel Medio

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–16	17–30	31–42	43–52	53–61	62–71	72–100

## Evaluación interna del Nivel Superior y del Nivel Medio

### Límites de calificación del componente

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–8	9–16	17–22	23–27	28–33	34–38	39–48

### Ámbito y adecuación del trabajo entregado

El alcance y la variedad del trabajo práctico resultaron impresionantes. La mayoría de los colegios ha seguido un programa práctico muy completo y los profesores han evaluado trabajos de investigación apropiados y de un nivel alto. La calidad del trabajo de la mayoría de los alumnos fue buena e incluso en aquellos colegios cuyos alumnos estuvieron académicamente flojos, se mostró entusiasmo y tenacidad en las investigaciones. La mayoría de los informes de los alumnos se hicieron con procesador de texto y los gráficos se generaron mediante aplicaciones gráficas. Hubo un buen uso de tecnologías de la información en las diversas investigaciones. En general, la mayoría de los colegios está llevando a cabo un trabajo ejemplar en la aplicación de un programa práctico.

### Desempeño de los alumnos con relación a cada criterio

#### Diseño (D)

Las ideas de diseño de la mayoría de profesores fueron adecuadas para las investigaciones en Diseño. Hubo muchos ejemplos de ideas válidas y probadas, como las de las investigaciones sobre voladizos y rebotes de pelotas. También se vieron investigaciones nuevas en las que la idea de diseño del profesor no fue de tipo imperativo, sino del estilo de “investiga algo que te guste”. Las dificultades aparecieron solamente en unos pocos casos en los que no se pudieron cuantificar las cantidades, como cuando se hace rebotar una pelota sobre superficies diferentes (en donde se utilizó un histograma, en lugar de un gráfico lineal) o cuando el profesor evaluó el Diseño de una investigación bien establecida, como la Ley de Boyle o el cálculo de la velocidad del sonido mediante un tubo resonante lleno de agua.

#### Obtención y procesamiento de datos (OPD)

Como se esperaba, los alumnos logran frecuentemente puntuaciones altas bajo el criterio OPD. Los datos brutos siempre tienen cierta incertidumbre, aunque sea el valor mínimo, y los alumnos deberían manejar con facilidad los valores esperados. Los moderadores buscan una breve indicación de por qué el alumno asigna un valor concreto a la incertidumbre, tanto para los datos brutos como para los procesados. Cuando se evalúa la OPD, se espera que los

alumnos hayan elaborado gráficos. Los gráficos permiten detectar los valores extraños y los errores sistemáticos en la línea de tendencia de los datos. Hubo algunos casos en los que los gráficos habrían resultado relevantes, pero los alumnos solo hicieron cálculos. Hubo unos pocos casos de gráficos que no contenían barras de error y que no determinaron la incertidumbre del gradiente. De nuevo, los alumnos resuelven fácilmente estos casos si se dan cuenta de que se espera que se tengan en cuenta las incertidumbres. En tales casos no se puede lograr una nota completa en el aspecto 3 de la OPD. Los gráficos de puntos dispersos deben mostrar líneas de ajuste óptimo (lineales o curvas), y no líneas de punto a punto. Por último, hubo unos pocos casos de gráficos de puntos dispersos que describían curvas con claridad, pero en los que los alumnos insistieron en trazar rectas. Los profesores deberían disuadir de ello a los alumnos.

### Conclusión y evaluación (CE)

Este continúa siendo el criterio más difícil para los alumnos. En lo que se refiere al aspecto 1 de la CE, los alumnos necesitan pensar más allá de los datos disponibles, al objeto de dar una justificación basada en una interpretación razonable de los datos. Con esta intuición se pueden examinar los extremos del rango de datos, el origen del gráfico o el punto de corte con el eje y en busca de un significado físico. Los alumnos pueden incluso dar alguna interpretación física de la relación general (quizás una hipótesis). Si los alumnos realizan una práctica de física estándar y conocida y se evalúa la CE, entonces es improbable que puedan mostrar puntos débiles o mejoras. La evaluación de la CE es también mejor cuando son los propios alumnos quienes han diseñado y llevado a cabo la investigación.

### Recomendaciones para la enseñanza a futuros alumnos

La convocatoria de examen de noviembre de 2015 será la última convocatoria con los criterios actuales de evaluación interna. La convocatoria de exámenes de mayo de 2016 incluirá nuevos criterios y expectativas de evaluación interna. Los conocimientos que tienen actualmente los alumnos sobre diseño, obtención y análisis de datos, trazado de gráficos y propagación de errores, y conclusión y evaluación les resultarán de gran ayuda con la nueva evaluación interna. Se recomienda que durante el curso el profesor enriquezca la experiencia del alumno sugiriendo posibles ampliaciones para cada investigación en el aula. Hacer esto puede animar a los alumnos a pensar sobre su evaluación interna. Se recomienda también a los profesores que aclaren e impongan la idea de la probidad académica. El Proyecto del Grupo 4 será también un buen lugar para enseñar técnicas de investigación.

### Comentarios adicionales

El actual sistema de evaluación interna se ha vuelto demasiado familiar para los profesores y muchos están tomando atajos con solamente dos investigaciones para la evaluación de cada criterio. Ha llegado el momento de un nuevo enfoque para la evaluación interna y en mayo de 2016 se aplicarán nuevos criterios. Tanto profesores como alumnos han de planificar con antelación para adaptarse a las expectativas y requisitos de la nueva evaluación interna.

Hubo algunos casos alarmantes de alumnos que no lograron ningún punto en ninguno de los tres criterios de evaluación interna. Aun cuando se dé este caso, los profesores deben entregar el trabajo que ha obtenido cero puntos. Hubo un caso en que el profesor concedió cero puntos en Diseño y se subió la puntuación en la moderación.

## Prueba 1 del Nivel Superior y del Nivel Medio

### Límites de calificación del componente

#### Nivel Superior

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–10	11–15	16–20	21–23	24–27	28–30	31–40

#### Nivel Medio

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–7	8–10	11–14	15–17	18–19	20–22	23–30

### Comentarios generales

Algunas preguntas son comunes a las pruebas del NM y del NS, y las preguntas adicionales en el NS permiten abarcar más a fondo el programa de estudios.

Todos los años se reciben de los profesores comentarios ocasionales de que la prueba 1 o la 2 no está equilibrada en cuanto a la cobertura del programa de estudios. Debe observarse, no obstante, que estas dos pruebas *juntas* pretenden proporcionar una evaluación válida del programa de estudios al completo, tanto en contenidos como en habilidades. Las habilidades específicas que se deben suscitar en los alumnos para resolver bien las preguntas de opción múltiple se describen en la sección final de este informe.

Un número alentador de colegios devolvieron los formularios G2 en esta convocatoria. Para el NM hubo 112 respuestas de 844 colegios, y para el NS 168 respuestas de 812 colegios. Al mismo tiempo que damos las gracias a quienes se molestaron en darnos la información solicitada en los formularios G2, rogamos a todos los colegios su colaboración. Los comentarios de los profesores se estudian con atención y contribuyen al proceso de establecer unos límites de calificación realistas y justos, dada la naturaleza de la prueba.

Las respuestas recibidas han indicado que las pruebas de mayo de 2015 tuvieron en general una buena acogida; una gran parte de los G2 recibidos contenía comentarios favorables. Los comentarios negativos revelaban la sensación de falta de tiempo suficiente y de que muchas

de las preguntas eran demasiado “capciosas”. Esto se aborda en los párrafos finales de este informe. La estadística muestra que un 48 % de los profesores que respondieron consideró que la prueba del NS ha sido de una dificultad similar a la del año pasado, mientras que un 36 % la juzgó un poco más difícil. En torno a un 60 % de quienes respondieron consideraron la prueba del NM de nivel similar a la del año pasado, estando el resto dividido entre quienes la consideraron “un poco más difícil” y “un poco más fácil”. La puntuación media tanto para el NM como para el NS fue muy similar a la del año pasado (NS, 22,3 frente a 22,8, y NM, 15,9 frente a 15,6).

Con pocas excepciones, los profesores han considerado que la presentación de las pruebas y la claridad de la redacción han sido satisfactorias o buenas.

## Análisis estadístico

El rendimiento global de los alumnos y el correspondiente a las diferentes preguntas se ponen de manifiesto en el análisis estadístico de las respuestas. Los datos se indican en los recuadros inferiores. Los números en las columnas A–D y en la de “En blanco” son los números de alumnos que eligieron esa opción o que dejaron la respuesta en blanco.

La clave (opción correcta) está indicada por una casilla **sombreada**.

El índice de dificultad (quizá sería mejor llamarlo índice de facilidad) es el porcentaje de alumnos que dieron la respuesta correcta (la clave). Un índice alto indica pues una pregunta fácil. El índice de discriminación es una medida de lo bien que la pregunta ha permitido distinguir entre alumnos de diferentes capacidades. En general, un mayor índice de discriminación indica que una mayor proporción de los mejores alumnos ha identificado correctamente la clave, en comparación con los alumnos más flojos. Esto puede no ser así, sin embargo, cuando el índice de dificultad es alto o bajo.

## Análisis de la Prueba 1 del Nivel Superior

Número de alumnos: 6737

Pregunta	A	B	C	D	En blanco	Índice de dificultad	Índice de discriminación
1	557	472	4830	839	39	71,69	0,37
2	5182	1048	315	180	12	76,92	0,28
3	4699	1386	331	314	7	69,75	0,44
4	350	420	4928	1013	26	73,15	0,42
5	48	6324	267	94	4	93,87	0,14
6	239	1058	873	4526	41	67,18	0,37
7	180	396	5185	968	8	76,96	0,25
8	3441	1684	841	722	49	51,08	0,25
9	409	1232	4628	455	13	68,70	0,47

10	386	167	1349	4822	13	71,57	0,21
11	4850	753	863	265	6	71,99	0,44
12	1180	4940	432	167	18	73,33	0,13
13	1180	3494	1319	712	32	51,86	0,49
14	838	5507	184	188	20	81,74	0,36
15	787	1024	2032	2871	23	42,62	0,49
16	784	931	1575	3442	5	51,09	0,60
17	576	1822	2739	1568	32	40,66	0,54
18	3033	1216	2130	325	33	76,64	0,11
19	623	2847	2003	1219	45	42,26	0,37
20	2434	2834	785	650	34	36,13	0,20
21	607	1377	1539	3191	23	47,37	0,48
22	2553	505	3233	401	45	47,99	0,38
23	1028	4222	1062	414	11	62,67	0,51
24	491	1816	642	3755	33	26,96	0,26
25	2925	2298	816	681	17	43,42	0,32
26	965	1936	3576	232	28	53,08	0,41
27	471	5054	525	660	27	75,02	0,39
28	1940	1088	2166	1512	31	32,15	0,26
29	2524	2487	645	1022	59	36,92	0,53
30	2163	1099	683	2736	56	40,61	0,51
31	1196	3124	1409	919	89	46,37	0,41
32	860	578	3880	1382	37	57,59	0,37
33	3826	2548	124	216	23	56,79	0,28
34	2928	1145	1026	1584	54	43,46	0,53
35	508	748	2245	3202	34	33,32	0,26
36	1735	2417	2437	75	73	35,88	0,23
37	537	453	142	5569	36	82,66	0,23
38	289	698	1625	4090	35	60,71	0,28
39	1733	2354	1219	1304	127	25,72	0,36
40	4355	708	920	649	105	64,64	0,46

## Análisis de la Prueba 1 del Nivel Medio

Número de alumnos: 5088

Pregunta	A	B	C	D	En blanco	Índice de dificultad	Índice de discriminación
1	226	1912	890	2053	7	40,35	0,56

2	1608	389	3021	59	11	59,38	0,50
3	3437	1096	207	340	8	67,55	0,36
4	2697	1501	400	480	10	53,01	0,50
5	559	2303	1657	555	14	45,26	0,41
6	215	4437	207	223	6	4,38	0,00
7	99	4408	395	173	13	86,64	0,28
8	519	174	4273	119	3	83,98	0,27
9	1834	947	2200	96	11	36,05	0,57
10	254	922	741	3149	22	61,89	0,36
11	227	549	3383	917	12	66,49	0,44
12	2879	964	831	408	6	56,58	0,56
13	1067	2844	769	392	16	55,90	0,51
14	1658	1011	462	1944	13	32,59	0,47
15	2316	1266	1109	386	11	45,52	0,54
16	1268	283	3094	431	12	60,81	0,36
17	1054	903	1340	1782	9	35,02	0,63
18	955	812	1922	1375	24	15,96	0,05
19	853	1163	590	2469	13	48,53	0,59
20	526	1026	1658	1864	14	36,64	0,42
21	2180	741	1537	605	25	30,21	0,26
22	116	408	4344	213	7	85,38	0,30
23	543	3359	480	667	39	66,02	0,47
24	269	204	4477	126	12	87,99	0,21
25	2637	2072	111	247	21	51,83	0,35
26	637	3688	277	472	14	72,48	0,35
27	1626	1064	983	1376	39	31,96	0,48
28	506	688	1742	2132	20	34,24	0,33
29	1330	3419	182	139	18	67,20	0,50
30	540	408	323	3791	26	74,51	0,32

## Comentarios sobre el análisis

### Dificultad

El índice de dificultad varía desde alrededor de un 25 % en el NS y de un 4 % en el NM (preguntas relativamente “difíciles”) hasta alrededor de un 93 % en el NS y de un 87 % en el NM (preguntas relativamente “fáciles”). Las pruebas arrojaron una distribución adecuada de las puntuaciones al tiempo que permitieron a todos los alumnos lograr puntos. La pregunta del 4 % en el NM (pregunta 6) fue inusual —28 de las 30 preguntas del NM tuvieron índices de dificultad por encima del 30 %—.

## Discriminación

Todas las preguntas, excepto la pregunta 6 del NM, presentaron un valor positivo para el índice de discriminación. Lo ideal sería que el índice fuera mayor de un 0,2, aproximadamente. Esto se logró en todas las preguntas excepto dos de cada una de las pruebas. No obstante, un índice de discriminación bajo puede no ser el resultado de una pregunta poco fiable. Puede indicar un error conceptual extendido entre los alumnos o tratarse de una pregunta con un índice de dificultad alto (o muy bajo).

## Respuestas “en blanco”

En ambas pruebas, hubo bastantes respuestas en blanco dispersas por toda la prueba con un ligero incremento hacia el final. Esto podría indicar que algunos alumnos no dispusieron del tiempo suficiente para completar sus respuestas, mientras que otros dejaron de lado las preguntas de las que no estaban seguros. Debe recordarse a los alumnos que no hay penalización por las respuestas incorrectas. Por lo tanto, si se desconoce la respuesta correcta, debería hacerse una suposición razonable. En general, debería ser posible eliminar algunas de las respuestas de “distracción”, lo que aumenta la probabilidad de elegir la correcta. Si los alumnos se centran en seleccionar la respuesta correcta, y no en obtenerla (como pudiera ser en la prueba 2), entonces deberían tener tiempo suficiente para completar todas las preguntas y poder revisar las dudosas.

## Puntos fuertes y débiles de los alumnos al abordar cada una de las preguntas

El rendimiento de los alumnos en cada una de las preguntas individuales se indica en las tablas estadísticas anteriores, junto con los valores de los índices. En la mayoría de los casos basta con esta información para cada pregunta específica. Se comentan a continuación solamente algunas preguntas seleccionadas, concretamente aquellas representativas de algún aspecto particular o que suscitaron comentarios en los G2.

## Preguntas comunes al Nivel Superior y el Nivel Medio

### Pregunta 10 del NM y pregunta 6 del NS

Si los alumnos entienden el calor específico como “resistencia al cambio de temperatura”, entonces D es la única respuesta posible. Los alumnos no deberían necesitar llevar a cabo manipulaciones algebraicas.

### Pregunta 21 del NM y pregunta 22 del NS

Los alumnos entendieron que tenía que ser A o C, pero no supieron usar correctamente su mano izquierda. Si las direcciones resultan confusas, siempre pueden cambiar la orientación del papel. Se trataba de una pregunta fácil y fue sorprendente que tantos eligieran la respuesta incorrecta A.

### Pregunta 25 del NM y pregunta 33 del NS

Los alumnos deben estar familiarizados con la generación de energía en el mundo. Hubo profesores que comentaron que esta pregunta era injusta, aunque era claro que preguntaba sobre las necesidades mundiales de energía, no sobre las de un país concreto.

### Pregunta 28 del NM y pregunta 35 del NS

Muchos alumnos claramente creyeron que el mar era más reflexivo que el desierto. Su color es azul oscuro... y su albedo es de alrededor de 0,1 frente al 0,4 del desierto.

## Preguntas del Nivel Superior

### Pregunta 10

El líquido cambia de dirección, por lo que B es imposible. Se nos dice que oscila, por lo que A tiene que ser incorrecta. La diferencia entre C y D es que D está amortiguado. Cualquiera que haya visto un líquido oscilando en un tubo sabe que el movimiento es amortiguado; no es necesario decir que la situación es "sin rozamiento". No fueron muchos los alumnos confundidos por esto, pero hubo algunos profesores que creyeron que C era una posibilidad. Debe hacerse hincapié en que se pide la mejor respuesta.

### Pregunta 12

La reflexión de las ondas en superficies está claramente recogida en el programa de estudios, pese a la opinión expresada por algunos de los que respondieron al formulario G2. La estadística muestra que los alumnos no tuvieron problemas para seleccionar la respuesta correcta.

### Pregunta 15

Muchos alumnos seleccionaron C, presumiblemente por no saber que la luz violeta tiene una longitud de onda más corta que la luz roja. Los alumnos debería estar familiarizados con el conocimiento de la comparación entre longitudes de onda electromagnéticas.

### Pregunta 17

Es habitual que los examinadores observen que los alumnos no tienen "sensaciones" intuitivas de la electricidad de circuitos. Este fue un caso. Cuando la aguja está en  $P_1$ , el voltímetro mide el potencial a través de un cable conductor, claramente cero. Se podría haber pensado entonces que A y C serían las opciones habituales, pero alrededor de la mitad de los alumnos eligieron B o D. Cuando la aguja está en  $P_2$ , la lectura ha de ser menor de 6V, pues se perderá algo de potencial en cada resistencia.

Siempre es un error enseñar a los alumnos  $V = IR$  antes de que adquieran una buena comprensión conceptual de lo que significan  $V$  e  $I$ . Esta pregunta es un ejemplo del tipo de pregunta que se debería poder resolver antes de aprender a hacer cálculos con circuitos.

### Pregunta 18

Algunos profesores indicaron que el enunciado no definía el sentido de una corriente positiva, lo que dejaba A y C como respuestas correctas posibles. Se han aceptado ambas. Los examinadores sospechan, no obstante, que quienes eligieron C no habían aprendido ninguna regla mnemotécnica para la ley de Lenz, del mismo modo que no habían sabido utilizar la mano izquierda en la pregunta 22.

### Pregunta 20

La intensidad de campo eléctrico disminuye con la distancia a una carga de acuerdo con la regla del inverso del cuadrado. Por ello, el cociente de las distancias del punto pedido a P y Q debería ser  $\sqrt{2}$ . Esto claramente no ocurre para B, la respuesta más popular.

### Pregunta 24

Los alumnos confunden frecuentemente la intensidad del campo en un punto con el potencial en ese punto. Estos dos conceptos han de ser introducidos con cuidado y repetidos. Aquí la pregunta se refiere al potencial; es decir, al trabajo efectuado por unidad de masa para mover una masa desde el infinito hasta P. Claramente no es cero (aunque la fuerza sobre un objeto ahí situado sí sería cero). Aun así, más del 50% de los alumnos optó por D.

¿Acaso los alumnos no han estado nunca en una montaña alta (donde el potencial es alto) pero sobre suelo llano (donde no hay fuerza que los empuje hacia abajo)?

### Pregunta 25

Puesto que las cargas generan equipotenciales de manera análoga a las masas, si I es correcta entonces II ha de serlo también. Esto deja A y D como únicas opciones posibles. Al ser las equipotenciales simétricas respecto a las dos fuentes, la respuesta ha de ser A.

### Pregunta 28

La estadística muestra que los alumnos se sintieron muy confundidos con esta pregunta. Los examinadores detectaron también confusión con preguntas similares en la prueba 2.

Aquí la fuente emite igual número de fotones por segundo, pero la luz cambia de roja a azul. (Esto significa que la intensidad de la luz ha aumentado, pues la intensidad se refiere a la potencia de la luz y un fotón “azul” llevaría más energía que uno “rojo”.)

Como se ha observado en el caso de la pregunta 15, los alumnos necesitan saber que la luz azul tiene una longitud de onda más corta o una frecuencia más alta que la luz roja, y por lo tanto cada fotón transporta más energía. Por tanto, los fotoelectrones tendrán más energía cinética y el voltaje de parada será mayor. Luego ha de ser A o C. Pero al haber el mismo número de fotones incidentes por segundo, habrá el mismo número de fotoelectrones por segundo al alcanzar la saturación. De donde se obtiene C.

### Pregunta 31

Se pide a los alumnos que conozcan el espectrómetro de masas. Todas las partículas que se adentran en un espectrómetro de masas tienen velocidad constante (tras haber atravesado por campos que seleccionan una velocidad apropiada). De aquí que la única respuesta pueda ser B. Parecería que muchos alumnos confundieron el espectrómetro de masas con el ciclotrón.

### Pregunta 36

B y C fueron elegidas por el mismo número aproximado de alumnos. Los gráficos muestran que los dos cuerpos alcanzan su máxima intensidad en la misma longitud de onda. La ley de Wien relaciona esta  $\lambda_{\max}$  con la temperatura. Por lo que los dos cuerpos tienen la misma temperatura. Dado que tanto X como Y tiene la misma área superficial, el máximo más alto de X solo puede significar que X tiene mayor emisividad.

## Preguntas del Nivel Medio

### Pregunta 6

Esta pregunta arrojó estadísticas bastante extrañas. Los diagramas de Sankey muestran transformaciones de energía en todas las partes del funcionamiento de una máquina. Por ello, han de leerse cuidadosamente antes de precipitarse a sacar conclusiones. Aquí hay dos fuentes de “pérdida” de energía: en la polea y en el motor. La pregunta trataba del rendimiento del *motor*. El diagrama muestra que el 75 % de la energía suministrada al motor afecta al entorno. D tiene que ser por tanto la respuesta correcta.

Quizá el problema sea que los diagramas de Sankey no se enseñan explícitamente. Simplemente, la mayoría de profesores y alumnos los ve evidentes.

### Pregunta 9

La energía interna está relacionada tanto con la energía potencial de las moléculas (que aumenta con un cambio de estado) como con la energía cinética de las partículas (que aumenta con la temperatura). Por lo tanto, es A.

La opción más popular fue la C, lo cual puede indicar que los alumnos no están familiarizados con el concepto de energía interna, confundiéndolo con la temperatura.

### Pregunta 14

D fue la opción más popular. Esta situación es análoga al paso del tráfico y al flujo del agua en los ríos, así como a la electricidad. En todos los casos la frecuencia de las “cosas” que pasan por segundo no varía, aunque lo haga la velocidad. Por tanto, la respuesta tiene que ser A.

### Pregunta 15

Fue reconfortante ver que A, la clave, fue también la opción más popular. Esta pregunta sirvió como un muy buen discriminador, en la que los mejores alumnos se percataron de que los dos pulsos nunca podrían combinarse para formar B.

### Pregunta 18

Los alumnos deben leer la pregunta con cuidado y no precipitarse a elegir el gráfico que les resulta más familiar. La respuesta más habitual fue C, como si el circuito estuviera preparado para comprobar la ley de Ohm, pero la pregunta establece claramente que R es variable.

### Pregunta 19

A algunos profesores no les gustó el uso de  $10 \text{ Nkg}^{-1}$ , pero esto no confundió a los alumnos, para quienes la opción más popular fue la D, la correcta.

### Pregunta 24

En la prueba 2 se hace siempre evidente la confusión respecto al significado de la semivida. La mejor estrategia es definirla en función de la actividad de la muestra. Si, no obstante, los alumnos desean mencionar lo que ocurre en el nivel atómico, entonces deben especificar (como hace esta pregunta) que la muestra es una muestra radiactiva pura. (Normalmente, las muestras radiactivas no son puras). Fue reconfortante ver que casi un 90 % de los alumnos acertó en esto. El historial de resultados en la prueba 2 no es en absoluto tan bueno.

## Recomendaciones y orientación para la enseñanza a futuros alumnos

Las preguntas de opción múltiple proporcionan una manera excelente, motivadora y muy eficaz en el tiempo para examinar y promover el aprendizaje a lo largo de un curso. Pueden utilizarse como introducciones con las que estimular el debate así como para test rápidos y nunca deberían verse como un añadido final, con una prueba de cada vez exclusivamente para practicar la convocatoria final de examen.

Las preguntas de opción múltiple ponen a prueba habilidades diferentes que las preguntas estructuradas. En la prueba 2 se espera que los alumnos demuestren sus conocimientos de una manera lógica y comunicativa. Sin embargo, las preguntas de opción múltiple ponen a prueba la rapidez de pensamiento (sin calculadora), la profundidad de comprensión y la capacidad de resolución de problemas.

Los profesores comentan con frecuencia que hay preguntas “capciosas” injustas, pero el mundo físico cuenta con una historia de engaños a científicos, llevándolos a conclusiones incorrectas. Para no caer en la “trampa”, los alumnos han de leer la pregunta con mucho cuidado para visualizar la situación. Las preguntas se redactan con todo cuidado para comunicar el problema sin ambigüedad y con tan pocas palabras como sea posible. Todas las palabras son necesarias y suficientes. Una vez que han hecho su elección, los alumnos

deberían habituarse a repasar si han respondido realmente a la pregunta. Solo entonces deberían continuar. Hay evidencia de que muchos alumnos no repasan después de hacer su elección.

No existe una estrategia correcta única con las preguntas de opción múltiple, por lo que se requiere flexibilidad de razonamiento. Debe alentarse a los alumnos a desarrollar estrategias para aislar la respuesta correcta, en lugar de deducirla como harían en una prueba 2. Entre las estrategias que permiten resolver con éxito las preguntas de opción múltiple estarían:

- Eliminar las respuestas claramente erróneas.
- Tener en cuenta las unidades. Hay evidencia abundante de que no se está enseñando a los alumnos la importancia y la necesidad de las unidades. Se mencionan para ayudar al alumno, no para incomodarlo, y con frecuencia permiten identificar la respuesta correcta.
- Si dos respuestas son lógicamente equivalentes, entonces han de ser erróneas.
- Exagerar una variable —esto puede orientar al alumno en la dirección correcta, en particular cuando una variable está en el denominador de una respuesta y en el numerador de otra—.
- Dibujar la situación mientras se lee el enunciado. Un esquema sencillo puede ayudar a comprender el enunciado y muchas veces orientará al alumno hacia la respuesta correcta. Esto es especialmente importante para alumnos con habilidades lingüísticas flojas.
- Diferenciar entre las funciones coseno y seno —visualizando mentalmente el ángulo de  $90^\circ$  se verá cuál es correcta—.
- Utilizar la proporción: cantidad nueva = cantidad anterior  $\times$  fracción, en donde la fracción depende de las variables que hayan cambiado.
- Fijarse en los ejes de los gráficos y utilizar unidades para asignar significado a la pendiente y al área.
- Si todo lo demás falla, aventurar una suposición razonada.

Los alumnos deberían intentar responder a todas las preguntas. Se ha de enfatizar que las respuestas incorrectas no provocan una penalización en la puntuación.

Los gráficos, los diagramas de fuerzas y otras formas de ilustración son herramientas fundamentales con las que los físicos intentan modelar y comprender el mundo. Debe animarse a los alumnos a dibujar las respuestas a los problemas antes de lanzarse a los cálculos. Se ha demostrado, también a partir de las pruebas escritas y las monografías, de que esta habilidad no la tienen muchos alumnos.

El enunciado debe leerse con cuidado. Inevitablemente, algunas preguntas pueden ser a primera vista similares a preguntas planteadas en el pasado, pero los alumnos no deberían sacar conclusiones precipitadas. Parece que algunos alumnos no leen el enunciado completo sino que, más bien, una vez que han captado el sentido general pasan a las opciones. Las preguntas de opción múltiple se formulan con la mayor brevedad posible. Por consiguiente, todas las palabras son significativas e importantes. Los alumnos deben también tener en cuenta que se les pide que encuentren la mejor respuesta. A veces puede no ser 100 %

correcto, pero los alumnos de Física deberían estar acostumbrados a identificar e ignorar cantidades que tengan una influencia despreciable.

Los alumnos deberían consultar la *Guía de Física* vigente durante la preparación del examen con el fin de tener claros los requisitos para el éxito en los exámenes. Los profesores han de ser conscientes de que las preguntas se preparan a partir de los requisitos del programa de estudios, no a partir de pruebas anteriores.

La guía invita a los alumnos a recordar hechos simples, aun cuando la mayor parte de la física se orienta a procesos. Este tipo de hechos se prestan a preguntas de opción múltiple, por lo que los profesores no han de ser reacios a pedir a sus alumnos que ocasionalmente memoricen información. Las definiciones (que siempre se enuncian de forma deficiente en las pruebas escritas) se aprenden y se comprueban tal vez mejor con preguntas sencillas de opción múltiple.

Los alumnos pueden esperar que la proporción de preguntas que abarca un tema concreto coincida con la proporción de tiempo asignada a la docencia de ese tema, tal como se especifica en la *Guía de Física*. La cultura general que la mayoría de la gente suele tener sobre ciertos temas de la guía no siempre es suficiente para resolver las preguntas, que no son triviales.

## Prueba 2 del Nivel Superior y del Nivel Medio

### Límites de calificación del componente

#### Nivel Superior

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–13	14–26	27–35	36–44	45–52	53–61	62–95

#### Nivel Medio

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–6	7–12	13–17	18–22	23–27	28–32	33–50

### Comentarios generales

En el NS en esta sesión, solo 192 de los 812 colegios enviaron sus comentarios en los formularios G2. Tales comentarios resultan muy útiles para el diseño de pruebas futuras y se anima a los profesores a que envíen puntualmente sus comentarios a través de su coordinador del IB. Hubo una satisfacción generalizada con la cobertura del programa de estudios; un 88 % de los colegios estimó que la prueba tenía un nivel de dificultad apropiado, un 11 % la consideró demasiado difícil y el 1 % restante la consideró demasiado fácil. Un 59 % de los colegios consideraron que la prueba tenía un nivel de dificultad similar a la del año pasado; el 30 % la consideró más difícil y el 8 %, un poco más fácil. Un 80 % de los colegios consideraron entre buena y excelente la claridad de la redacción; un 16 %, razonable, y un 4 %, deficiente o muy deficiente. Un 89 % de los colegios consideraron entre buena y excelente la presentación de la prueba; un 10 %, razonable, y un 1 %, deficiente.

En el NM, solo 130 de los 844 colegios enviaron sus comentarios en los formularios G2 en esta convocatoria. Hubo una satisfacción generalizada con la cobertura del programa de estudios; un 93 % de los colegios estimó que la prueba tenía nivel de dificultad apropiado y el 7 % restante la consideró demasiado difícil. Un 62 % de los colegios consideraron que la prueba tenía un nivel de dificultad similar a la del año pasado; el 20 % la consideró más difícil y el 15 %, un poco más fácil. Un 85 % de los colegios consideraron entre buena y excelente la claridad de la redacción; un 14 %, razonable, y un 1 %, deficiente. Un 94 % de los colegios

consideraron entre buena y excelente la presentación de la prueba, y el 6 % restante la consideró razonable.

La prueba reveló que los mejores alumnos muestran una comprensión profunda del mundo físico y saben aplicar de manera precisa su conocimiento de la física a la resolución de problemas.

Hay demasiados alumnos que tienen una mala apreciación de los números en las situaciones físicas cotidianas. Se dieron dimensiones subatómicas a cables ¡y kilómetros de longitud a las aspas de los aerogeneradores! Tales alumnos no logran vincular el mundo en el que viven con las respuestas que se escriben en un papel. Esto afectó a todas las partes del examen.

Solo los mejores alumnos mostraron un sentido del rigor en la presentación de sus respuestas. Debe hacerse hincapié en que el objeto de la resolución de problemas no es solamente producir una respuesta final. Los alumnos deben mostrar cómo se obtuvo la respuesta, indicando sus razonamientos con lógica y claridad. Con demasiada frecuencia se esparcen por la casilla de respuesta números y ecuaciones, sin que se indique cómo se relacionan entre sí. No se puede esperar que los examinadores adivinen qué es cada número. Es responsabilidad de los alumnos dejar clara la solución.

Cuando se pidieron explicaciones de fenómenos físicos, se evidenció que los alumnos habían memorizado de forma irregular definiciones y conceptos medio olvidados. Muchas explicaciones verbales fueron tortuosas y, a menudo, incompletas. Se aprecia claramente que muchos alumnos no comprenden la base conceptual del tema y prefieren un planteamiento de memorización que no funciona con las preguntas que apuntan a los objetivos más altos de evaluación.

Los alumnos siguen perdiendo puntos por no fijarse en las unidades.

Pese a los comentarios en los formularios G2, no hubo evidencia de que la prueba fuera demasiado larga, ya que la mayor parte de los exámenes contenían intentos completos de responder a todas las preguntas.

## Áreas del programa y del examen que les resultaron difíciles a los alumnos

- Comprensión de la relación entre un gráfico y la ecuación que lo representa
- Descripciones claras de las cantidades termodinámicas
- Cálculos y descripciones relativas al momento lineal
- Representaciones de una función de onda
- Cálculos y conceptos de la teoría eléctrica
- Determinación de los componentes del peso
- Recordar la forma del gráfico de la energía de enlace por nucleón frente al número nuclear

## Áreas del programa y del examen en las que los alumnos demostraron estar bien preparados

- Cálculos que implican combinar incertidumbres en porcentajes
- Descripciones de los efectos de la interferencia
- Describir el efecto invernadero intensificado y discutir las ventajas e inconvenientes de la tecnología de los aerogeneradores
- Describir el mecanismo mediante el cual se lee la información de un DVD
- Calcular los cambios de energía durante un cambio de estado
- Calcular la energía de un sistema que sufre movimiento armónico simple
- Calcular una constante de desintegración y masa de isótopo en un momento dado

## Puntos fuertes y débiles de los alumnos al abordar cada una de las preguntas

### Sección A

#### Pregunta 1 del NS y NM

Esta pregunta de análisis de datos se respondió mejor que otros años. Muchos alumnos obtuvieron 6 o más de los 11 puntos disponibles. En los comentarios recogidos en los G2 se criticó la pregunta por su complejidad, aunque los alumnos estuvieron a la altura del reto.

(a) Aunque la mayoría supo determinar las incertidumbres fraccionarias de los dos valores, una minoría significativa las restó para llegar a su estimación de incertidumbre fraccionaria. Solo una minoría supo avanzar con el problema.

(b)(i) Alrededor de tres cuartos dieron una demostración convincente de este problema sencillo. Los que no lo lograron no lo hicieron porque emborronaron el resultado o porque se embarcaron en intentos de deducir numéricamente el resultado; esto no mereció ningún punto.

(b)(ii) La recta de ajuste óptimo fue trazada con torpeza, incluso por quienes lograron el punto. El trabajo de los alumnos sigue siendo flojo en esta área. Las rectas deberían trazarse con un lápiz fino y el trabajo debería estar bien presentado. Se penalizan las líneas dobles, irregulares o gruesas, y los fallos en este aspecto necesariamente tendrán implicaciones sobre el trabajo posterior que dependa de datos derivados del gráfico.

(b)(iii) Los alumnos han de utilizar siempre un triángulo suficientemente grande para la determinación de un gradiente. Una buena regla empírica es la de utilizar al menos la mitad de la longitud de la recta trazada. Los datos numéricos deberían darse de manera precisa y — para datos experimentales de este tipo— han de especificarse con el número apropiado de cifras significativas. El trabajo flojo en esta área se caracterizó por datos numéricos con discrepancias de más de medio cuadrado y por valores finales expresados solo con una cifra significativa.

(b)(iv) Se pedía a los alumnos que extrapolasen su recta hasta el eje apropiado e hicieran la lectura del eje  $y$ . Los que no prolongan una recta o muestran algún tipo de señal apropiada en el papel no pueden esperar lograr este punto.

(b)(v) Muchos alumnos se percataron de que se requería un cálculo aquí y, en general, se resolvió bien. No obstante, algunos no supieron apreciar que el corte tomaba un valor negativo, pese a que el cálculo indicaba esto con claridad; este fallo se penalizó.

(b)(vi) Esto se resolvió mal. Todo lo que los alumnos tenían que hacer era elevar al cuadrado el valor de (b)(v). No obstante, muchos utilizaron un cálculo enrevesado, tomando un valor para  $g$  de  $9,8 \text{ m s}^{-2}$ , que los alumnos asumieron correcto. No lo era; se trataba de datos experimentales  $y$ , para un cálculo a partir de los datos derivados, los alumnos tenían que calcular el valor de  $g$ .

## Pregunta 2 del NS y pregunta 4, parte 2 del NM

Las explicaciones y definiciones fueron flojas. Los alumnos no supieron leer las preguntas con cuidado y perdieron puntos al no abordar los aspectos que se pedían.

(a) Fueron demasiados los que dieron una definición vaga y mal planteada de la energía de enlace. No se pedía que discutieran el defecto de masa como hicieron muchos.

NS (b)(i) y NM (d)(i) Teniendo en cuenta que se trataba de una tarea sencilla tomada de la guía, el gráfico se dibujó mal. El punto máximo se situó mal. Incluso los alumnos que escribieron Fe-56 en el máximo lo situaron bastante alejado. El gráfico se dibujó mal en la zona de números nucleares altos y se representó también mal la región entre los números nucleares 1 y 30. Los alumnos no supieron recordar los detalles de esta importante gráfica.

NS (b)(ii) y NM (d)(ii) Se dijo a los alumnos que debían hacer referencia al gráfico, pero no pasaron de un tercio quienes lo hicieron. Las explicaciones resultaron confusas e incoherentes, y muchos alumnos se conformaron con hacer observaciones aleatorias sobre la fisión. Resultó evidente que hay una gran confusión sobre la naturaleza de la fisión (e, indirectamente, de la fusión) y el origen de la energía que se libera como resultado de su ocurrencia.

NS solamente (c)(i) La inmensa mayoría supo reproducir la ecuación correctamente. Entre los fallos que se han visto está el de asumir la presencia de un neutrón entrante y el de equivocarse al sumar.

NS solamente (c)(ii) El cálculo de la masa inicial del elemento fue bien resuelto por muchos. Fueron aproximadamente iguales en número los alumnos que utilizaron la ecuación exponencial y los que calcularon la semivida y utilizaron  $2^{\text{semivida}}$ .

(c) y (e)(ii) [solo NM] Estas dos preguntas se plantean habitualmente, si bien la mayoría de los alumnos siguen siendo incapaces de dar respuestas precisas y correctas. Los alumnos deberían ser conscientes de que una "muestra radiactiva" siempre contendrá núcleos desintegrados y sin desintegrar. Siempre es más fácil definir la semivida en función de la actividad de una muestra que describiendo lo que ocurre dentro.

NM solamente (e)(iii) Esta se resolvió bien, aunque muchos de los alumnos con peores resultados simplemente dividieron 5,6 mg por las tres semividas, en lugar de duplicarlo por cada semivida.

### Pregunta 2 del NM solamente

(a) La mayoría supo calcular el peso (aunque muchos solo escribieron  $85 \times 10$ , sin ninguna introducción ni unidades). Hubo demasiados alumnos que confundieron  $\cos 19$  y  $\sin 19$ . Los alumnos deberían saber que  $\sin 0 = 0$ , por lo que si la carretera es horizontal y no hay componente "cuesta abajo", entonces el seno es la función apropiada. De manera similar, en el apartado (ii) sabemos que la fuerza normal de reacción aumenta cuando el ángulo decrece, por lo que se debe usar el coseno.

(b) Más de la mitad de los alumnos no parecieron percatarse de que la bicicleta irá decelerando y que, por lo tanto, deberían esperar una aceleración negativa que da lugar a una distancia positiva. Se trató de un caso más en el que los alumnos se precipitaron a dar una respuesta, sin dedicar tiempo a reflexionar sobre lo que ocurre.

### Pregunta 3 del NS y NM

(a) A los alumnos se les dio un término de instrucción del objetivo de nivel 3; esto debería hacerles ver que se requiere una respuesta de alto nivel. Se disponía de 3 puntos, lo que debería indicar a los alumnos que se pedían tres aspectos físicos. Una mayoría abrumadora planteó un contraste entre la energía térmica y la temperatura sin comentar el tercer aspecto, que consistía en indicar las unidades relevantes, algo sencillo en comparación. Se aconseja a los alumnos que utilicen  *toda*  la información que proporcionan las preguntas de la prueba. Alrededor de un 50 % obtuvieron 2 puntos.

(b)(i) El cálculo en términos numéricos se hizo bien. No obstante, en una pregunta en la que las potencias de diez podrían tener consecuencias, es vital que el alumno indique la unidad. La respuesta de  $2,5 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$  puede expresarse de múltiples maneras ( $2,5 \text{ MJ kg}^{-1}$ ,  $2500 \text{ kJ kg}^{-1}$ , etc.). Sin embargo, si el alumno no indica la unidad, el examinador debe penalizar al alumno.

(b)(ii) Resultó evidente a partir de las respuestas que los alumnos no habían sabido comprender la naturaleza del experimento. Muchos indicaron que "se pierde calor que va al calentador de agua". Esto no era plausible porque la situación era una de estado estacionario, pues el agua había alcanzado el punto de ebullición antes de que empezara el experimento. Por ello las puntuaciones fueron relativamente flojas en esta parte.

### Pregunta 4 del NS solamente

(a) Los examinadores vieron muchos intentos válidos de explicar la situación y parecía que los alumnos se sentían cómodos con los detalles experimentales. Se describieron efectos de interferencia y hubo descripciones cuidadosas de las diferencias en fase/camino que dan lugar a las posiciones de los mínimos.

(b) No obstante, al llegar a los cálculos muchos alumnos se perdieron. Se dio por válido un planteamiento simple en el que cuando una de las hojas reflectantes se mueve, también lo hace el patrón de interferencia. Los examinadores vieron sin embargo muchos casos en que se usó simplemente  $c = f\lambda$ . Esto no mereció ningún punto. Incluso aquellos que comprendieron lo que estaba ocurriendo a menudo asumieron que el examinador lo haría también y no explicaron exactamente por qué dividían por 2 la distancia entre los mínimos. Un pequeño número de alumnos siguieron un planteamiento basado en el efecto Doppler. Esto fue por lo general incorrecto, porque no se percataron de que la hoja móvil B es un “observador” móvil y una “fuente” móvil. Por ello, no aludieron en su respuesta a los conceptos de pulsos entre las señales originales y detectadas.

(c)(i) La calidad de la comunicación fue floja en esta pregunta. Los alumnos deben comprender la necesidad de presentar los fenómenos con claridad a un examinador. La difracción no provoca “curvatura” en una onda —eso sería, en todo caso, la refracción—. Los examinadores buscaban una idea clara de que la onda se expande. Muchos alumnos que dibujaron un diagrama claro lograron los dos puntos con relativa facilidad.

(c)(ii) La mayoría supo llegar al ángulo pedido. No obstante, los que escribieron  $0,533^\circ$  es evidente que no entendieron cómo funcionan las calculadoras y fueron penalizados por ello. Del mismo modo, la pregunta no indicaba que hubiera una apertura circular y el uso de un factor de 1,22 no tiene justificación.

(d) La mayoría logró 1 de los 2 puntos aquí al fallar en la implicación lógica. Una minoría preocupante piensa que las ondas sonoras son electromagnéticas y transversales (o, aun peor, electromagnéticas y longitudinales).

### Pregunta 5 del NS solamente

(a) Fue grato comprobar que los alumnos resolvieron bien esta pregunta, combinando las dos áreas del tema. La mayoría identificó  $F = Blv$  como la expresión apropiada y supo usar una ecuación cinemática de movimiento para calcular  $v$ . No obstante, los alumnos más flojos se mostraron perdidos en los conceptos físicos y se esforzaron, sin éxito, en aplicar versiones de la ley de Faraday para llegar al resultado. Una vez más, eran posibles los errores en las potencias de diez y los examinadores necesitaban ver la unidad (V, mV,  $\mu$ V y similares) para poder evaluar la corrección en la respuesta numérica.

(b) Las explicaciones del efecto fueron buenas; muchos lograron 2 de los 3 puntos. Fue habitual encontrarse con la idea de que la continuidad de la bobina llevaría a un flujo de carga y con discusiones de la ley de Lenz y sus consecuencias, pero se hizo mal el vínculo con el incremento de tiempo. La mayoría dio una descripción incompleta de la fuerza que actúa —es hacia arriba, y los alumnos han de especificar tales direcciones con claridad—. La mención a la oposición no es más que una reformulación de la ley de Lenz.

## Sección B

### Pregunta 6, parte 1 del NS y pregunta 4, parte 1 del NM

(a)(i) Pese a que son relativamente habituales las variantes de este problema, los alumnos siguen teniendo problemas para analizar los datos. Fue habitual encontrarse con soluciones que omitieron la presencia de cinco aerogeneradores o el rendimiento del 30 % de cada aerogenerador, o de ambos factores. Un número considerable de alumnos dieron el radio y no el diámetro. No eran preguntas que quisieran confundir a los alumnos. Los alumnos del nivel del Programa del Diploma tienen que saber leer una pregunta con atención y determinar qué se pide.

(a)(i), (ii), (iii) y (iv) Se presentaba a los alumnos una sucesión de preguntas sobre la idoneidad y localización de aerogeneradores en el caso concreto de una comunidad pequeña. Una vez más, hubo demasiados comentarios generales de alumnos que no habían sabido analizar las consecuencias y problemas propios de este caso concreto.

(b)(i) Muchos supieron completar este sencillo problema.

(ii) La pregunta pedía a los alumnos que se centraran en los aspectos relativos al viento. En vez de eso, muchos dieron respuestas relacionadas con la estación de carbón.

(iii) Muchos alumnos entienden ya han captado el mensaje de la física del efecto invernadero y utilizan la terminología de manera correcta y apropiada.

### Pregunta 4, parte 2 del NS solamente

(c) Alrededor de la mitad fueron capaces de escribir convincentemente sobre el compromiso entre la energía potencial gravitatoria y la energía cinética del cohete. En las respuestas flojas se discutieron características de la órbita (no se decía a los alumnos que el cohete estuviera en órbita).

(d) El cálculo se resolvió bien. Se vieron los dos planteamientos que aparecen en el esquema de calificación, pero a menudo los alumnos no consiguieron los dos puntos por no indicar claramente que el valor de la aceleración que habían determinado era numéricamente igual al de la intensidad del campo gravitatorio.

(e)(i) Aquí fueron muchos los que lograron 2 de los 3 puntos. El fallo más común fue el de asumir la relación entre  $mg'$  y  $GMm/r^2$ . Por lo demás, se indicó bien la igualdad entre energía potencial y energía cinética y los desarrollos fueron buenos. Poco podían lograr los alumnos que adoptaron un planteamiento basado en la fuerza centrípeta dado que, una vez más, no había movimiento circular.

(e)(ii) Muchos supieron utilizar el valor obtenido en (d) para determinar una velocidad para el cohete (se dieron por buenos los errores por arrastre) y la respuesta era entonces inmediata.

(f) Fueron relativamente pocos los que no supieron explicar que el satélite tiene también una componente de velocidad debida a encontrarse en la estación espacial.

### Pregunta 6, parte 2 del NM

(d) Una pregunta muy habitual que se respondió muy mal.

(e)(i) Esta fue otra pregunta de tipo “mostrar que”, por lo que se esperaba que los alumnos detallaran con mucha claridad el razonamiento que conduce a la ecuación dada.

(ii) Por lo general bien resuelta.

(iii) Fue reconfortante ver el número de alumnos que se percataron de que cuatro cargas se cancelan entre sí. Esto ha de explicarse claramente, en cualquier caso. Los examinadores no leen el pensamiento.

### Pregunta 7, parte 1 del NS y Pregunta 5, parte 1 del NM

Los alumnos mostraron una gran habilidad en esta pregunta y está claro que tienen una buena comprensión de los principios relevantes.

(a) Muchos consiguieron obtener 1 o 2 puntos al mostrar que  $k$  está relacionado con  $m$  y  $\omega^2$ .

(b)(i) Casi todos calcularon correctamente la frecuencia.

(ii) Aunque muchos comprendieron lo que ocurría, se echaron en falta a veces desarrollos lógicos completos; se pedía la cadena argumental completa. La frecuencia, o el período, es igual, por lo que  $\omega$  es igual. Y los muelles son iguales, por lo que  $k$  es igual.

(iii) Esto se resolvió mal porque los alumnos no llegaron al fondo de la palabra “confirmar”. Los examinadores buscaban una afirmación de lo que tenía que ser confirmado —la definición del MAS que la mayoría conocía— y de cómo el alumno proponía hacerlo. El segundo aspecto se resolvió mal; los alumnos sencillamente carecían del vocabulario para describir cómo utilizarían el gráfico para mostrar lo que se pedía.

(c)(i) y (ii) Muchos resolvieron bien estas preguntas. Los fallos habituales implicaron la posición del máximo de  $B$  y sus puntos extremos. La mayoría logró 2 de los 3 puntos en (ii), con uno u otro de estos fallos.

(d) Un gran número de alumnos hizo bien el cálculo.

### Pregunta 7, parte 2 del NS

Tanto (e) como (f) se respondieron satisfactoriamente.

(g)(i) Esta pregunta se respondió por lo general a medias: o bien “trabajo efectuado por el motor” o bien “trabajo efectuado en un ciclo”. Muchos creyeron que el fluido efectuaba trabajo a lo largo de todo el ciclo.

(g)(ii) Pregunta sencilla bien respondida por muchos. Entre los fallos encontrados estuvieron el de llegar a una fracción mayor que 1 y el de utilizar valores de energía incorrectos para la fracción.

(g)(iii) Esta se respondió bien y muchos consiguieron los dos puntos.

(h) Aunque fue habitual la afirmación de que  $\Delta Q = 0$ , muchas soluciones condujeron a un signo negativo porque los alumnos interpretaron mal los símbolos en la ecuación de la primera ley. Esto es incorrecto y fue penalizado.

### Pregunta 8, parte 1 del NS y Pregunta 6, parte 1 del NM

(a) Como en convocatorias anteriores, los alumnos no dan afirmaciones completas de la conservación del momento lineal. No basta con escribir “el momento se conserva”.

(b)(i) Los alumnos se dividieron al 50 % por lo que se refiere a la respuesta. Algunos recordaron que el momento inicial es la mitad de la variación en el momento y llegaron al valor correcto de  $0,96 \text{ kg m s}^{-1}$ ; los que no lo hicieron obtuvieron un valor doble y perdieron el punto.

(b)(ii) En este apartado se pasó por alto frecuentemente el signo de la aceleración, lo que fue penalizado. La mayoría de los alumnos aplicaron su conocimiento de la fuerza (si bien, lamentablemente, la fuerza máxima, en lugar del más apropiado valor medio) y de la masa para encontrar el valor numérico.

(b)(iii) Esta era una pregunta difícil en la parte alta del espectro de objetivos de evaluación y los alumnos probablemente no se dieron tiempo suficiente para meditarla. Muchos lograron 1 o 2 puntos, pero rara vez se alcanzaron los 3.

### Pregunta 8, parte 2 del NS

(d) Aunque es obvio que los alumnos entienden qué es un bit menos significativo, les sobrepasa el problema de expresarlo con un vocabulario apropiado en una prueba de examen. Muchos lo describieron como el bit del lado derecho —o, peor, del lado izquierdo—. Hay dos partes en la respuesta (y 2 puntos disponibles): lo que se entiende por bit y lo que lo hace menos significativo. A los alumnos les resultaría útil practicar durante su estudio la asociación entre preguntas y puntos disponibles.

(e) Numerosos alumnos lograron demostrar parcialmente su competencia para responder esta pregunta. Por lo general, olvidaron un aspecto del cálculo, normalmente la relación entre el ritmo de lectura y el número de bits en la muestra.

(f) Una vez más, aquí muchos alumnos mostraron una competencia parcial, no total. Fue habitual la puntuación de 3 sobre 4 al omitirse un elemento de la descripción. Esto se debió a menudo a la necesidad de aclarar que la reflexión ocurre conjuntamente desde el borde pozo-tierra o a la claridad en la discusión sobre la diferencia de rutas. Los buenos diagramas, trazados y etiquetados con cuidado, resultaron frecuentemente muy útiles a los alumnos. Tiene su razón de ser el espacio en blanco que se deja en el cuestionario de examen.

### Pregunta 9, parte 1 del NS

(a)(i) Se encontraron los inevitables errores en la manipulación de las ecuaciones y el problema del radio/diámetro. La puntuación más habitual fue 1 punto.

(a)(ii) Este era un cálculo inusual y complicado de naturaleza sinóptica, y muchos lo llevaron a cabo correctamente (se dieron por válidos los errores por arrastre desde (a)(i)). Una gran mayoría supo sacar adelante el paso fuerza/aceleración que concluye el cálculo, incluso habiendo cometido errores previos.

(a)(iii) Por otra parte, los alumnos no resolvieron bien esta pregunta. Resultó evidente que nunca habían reparado en que los electrones, aun estando sujetos a un campo eléctrico en un conductor, no aceleran continuamente. Fueron escasos los comentarios sobre las variaciones de energía; los alumnos se limitaron por lo general a una discusión de colisiones en términos que eran simplistas y a menudo no físicos.

(b)(i), (ii) y (iii) Los alumnos con práctica en manipular ecuaciones eléctricas y con una buena base conceptual sobre el tema apenas encontraron dificultades aquí. Aquellos cuyo dominio de la teoría de circuitos es titubeante (por desgracia, la mayoría de alumnos) encontraron difícil avanzar más allá de (i).

(i) Por lo general bien resuelto.

(ii) y (ii) Estas supusieron un mayor reto, con malentendidos muy evidentes. Fue habitual encontrarse con la afirmación de que la diferencia de potencial a través de un componente era de 24 V (en un circuito con una fuente de 12 V). Aquí y en otras partes, los alumnos escriben habitualmente cifras que no tienen base en la realidad sin ningún análisis crítico.

### Pregunta 9, parte 2 del NS

(c) Esta se comprendió bien.

(d)(i) y (ii) Se trataba de cálculos estándares que plantearon pocos problemas a los alumnos.

(d)(iii) Esta era una pregunta que requería mayor reflexión que la que le dedicaron los alumnos. Muchos (aunque no todos) se percataron de que el gráfico tenía que ser de tipo periódico, pero a pocos se les ocurrió vincular el problema con sus respuestas (correctas) a (d)(ii). De la misma manera, no se reparó en el punto final en 2 nm y los gráficos se prolongaron más allá de este punto.

(d)(iv) Muchos pasaron por alto la conclusión fácil, perdiéndose en divagaciones; muchos aludieron a la respuesta al apartado (c), sin identificar de forma concluyente la relación con el eje y del gráfico.

### Pregunta 5, parte 2 del NM

(d)(i) Este era un cálculo típico, pero hay demasiados alumnos que no saben acometer con exactitud las manipulaciones aritméticas pertinentes. Entre los errores comunes destacaron

los de confundir el diámetro con el radio del cable, no convertir milímetros a metros y no saber el área del círculo.

(ii) El sentido común (basado en una simple visualización mental) dice que al aumentar el diámetro de un cable debe disminuir su resistencia. Sin embargo, muchos gráficos mostraron una correlación positiva.

(e) Fue raro encontrar alumnos que supieran identificar los electrones como portadores de carga que se mueven bajo la influencia de un campo eléctrico (estableciendo así una corriente).

(f) Las respuestas dadas mostraron que la inmensa mayoría de los alumnos no dedicaron tiempo a comprender el circuito y lo que se preguntaba. Pareció como si hubieran utilizado la primera ecuación a mano, reemplazando valores sin un razonamiento claro.

## Recomendaciones y orientación para la enseñanza a futuros alumnos

- Los alumnos deberían aprender las definiciones como una ayuda para la comprensión de los conceptos.
- A los alumnos se les debería instar a ordenar sus cálculos de una manera lógica y presentable y a utilizar correctamente las unidades.
- Los alumnos deberían entender las implicaciones de los términos de instrucción que se utilizan en cada pregunta.
- A los alumnos se les debería instar a utilizar el vocabulario científico apropiado.
- A los alumnos se les debería instar a vincular sus estudios con sus vidas cotidianas.
- Los alumnos deberían comprender que una respuesta solo numérica, sin su unidad, está incompleta.

## Prueba 3 del Nivel Superior y Nivel Medio

### Límites de calificación del componente

#### Nivel Superior

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–10	11–20	21–29	30–34	35–40	41–45	46–60

#### Nivel Medio

<b>Calificación final:</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Rango de puntuaciones:</b>	0–6	7–12	13–18	19–21	22–25	26–28	29–40

### Comentarios generales

La mayoría de los alumnos hicieron un esfuerzo considerable por intentar resolver el número requerido de preguntas y parecieron tener tiempo suficiente para completar la prueba. Está claro que muchos colegios proporcionan muchas pruebas de años pasados, ya que se respondieron bien aquellas preguntas que se habían incluido anteriormente.

Relativamente pocos alumnos dejaron que sus respuestas se extendieran más allá de las casillas provistas en el cuestionario de examen. No obstante, hay aún demasiados alumnos que no saben presentar las respuestas en forma concisa y organizada. En esta convocatoria se advirtió una disminución apreciable en el número de hojas suplementarias en comparación con 2014.

Fueron frecuentes las ocasiones en las que la calificación se vio dificultada por la mala letra. En concreto, las potencias de diez y las comas decimales no siempre estaban claras. Muchas veces los examinadores tuvieron dificultades para descifrar el razonamiento del alumno en medio de los cálculos. Y frecuentemente faltaba cualquier tipo de razonamiento. Los errores con las unidades y las potencias de diez fueron alarmantemente frecuentes. Los departamentos de física han de ser conscientes de que en los exámenes a partir de mayo de 2016 se evaluará de forma significativa el tema 1 de la nueva guía de la asignatura. (Véase la sección sobre recomendaciones al final de este informe).

En el NS, 192 de los 812 colegios proporcionaron los formularios de comentarios G2 a este examen. Se trata de un incremento muy positivo en comparación con el año pasado. Tales comentarios resultan muy útiles para el diseño de pruebas futuras y se anima a los profesores a que envíen puntualmente sus comentarios a través de su coordinador del IB. Hubo una satisfacción generalizada con la cobertura del programa de estudios. El 94 % de los colegios consideraron que la prueba tenía un nivel de dificultad apropiado. El 64 % de los colegios consideraron que la prueba tuvo un nivel de dificultad similar al del año pasado; un 13 % la encontraron más difícil y un 20 %, más fácil. Los comentarios generales sobre las opciones individuales sugieren que la mayoría de los colegios que respondieron quedaron encantados con el alcance y la aptitud de la prueba. De hecho, la puntuación media fue alrededor de 3 puntos más alta que en la convocatoria de marzo de 2014. Un 90 % de los centros consideraron entre buena y excelente la claridad de la redacción y presentación de la prueba. Un 95 % comentó que no se apreciaba ningún sesgo cultural, religioso o étnico.

En el NM, 130 de los 844 colegios proporcionaron formularios de comentarios G2 para este examen. Hubo una satisfacción generalizada con la cobertura del programa de estudios. El 95 % de los colegios consideraron que la prueba tuvo un nivel de dificultad apropiado. El 70 % de los colegios consideraron que la prueba tuvo un nivel de dificultad similar al del año pasado, un 16% que fue más difícil y un 11% que fue más fácil. Los comentarios generales sobre las opciones individuales sugieren que la mayoría de los colegios que respondieron quedaron satisfechos con el alcance y la aptitud de la prueba. La puntuación media fue alrededor de 1 punto más alta que en 2014. El 90% de los colegios consideraron entre buena y excelente la claridad de la redacción y la presentación de la prueba. Un 95 % comentó que no se apreciaba ningún sesgo cultural, religioso o étnico.

## Áreas del programa y del examen que les resultaron difíciles a los alumnos

### Puntos débiles generales en este y otros exámenes recientes

- Identificar las frases clave o los datos de la pregunta.
- Saber qué representan los símbolos en las fórmulas y ecuaciones del cuadernillo de datos.
- Las potencias de 10 y los prefijos de unidades (la causa más habitual de pérdidas accidentales de puntos).
- Errores y despistes aritméticos y algebraicos. Los errores con la calculadora son habituales.
- Presentar los desarrollos en su totalidad en las preguntas de tipo “demuestre que”. Se exige prueba de los cálculos.
- Presentación general de los desarrollos en las preguntas numéricas; debe mostrarse planificación y método.
- Uso de regla al dibujar diagramas.
- Prestar poca atención al número de puntos concedido por cada apartado. Con frecuencia los alumnos mencionan menos hechos clave de los requeridos.
- Prestar poca atención a los términos de instrucción específicos, como “determinar”, “explicar”, “estimar”, etc.

- Ordenar la presentación de los hechos para elaborar una explicación o descripción.
- Las definiciones fueron por lo general flojas.

### Puntos débiles concretos del cuestionario de examen de Nivel Superior de marzo de 2015

- Aludir a la masa remanente cuando se menciona el límite de Chandrasekhar
- Aludir a estrellas u “objetos” en vez de a galaxias cuando se describe la expansión
- Uso correcto de las unidades convencionales para la constante de Hubble
- La explicación de la multiplexación por división de tiempo
- La diferencia entre atenuación y dispersión
- El uso de una ganancia negativa para un amplificador inversor
- Los mecanismos para la absorción de luz y la dispersión
- La cinemática relativista, especialmente la simultaneidad
- La mecánica relativista, especialmente el uso de las unidades MeV,  $\text{MeVc}^{-1}$  y  $\text{MeVc}^{-2}$
- Falta de referencia a la geodésica
- Cálculos de dosimetría
- La carga de los distintos quarks
- El uso de la ecuación de energía disponible para las colisiones de partículas
- La necesidad de vértices de carga neutra en los diagramas de Feynman

### Puntos débiles concretos del cuestionario de examen de Nivel Medio de marzo de 2015

- La longitud de onda máxima de la respuesta espectral de los bastones
- Encontrar la longitud de onda de una onda estacionaria a partir de la longitud de la columna de aire
- Explicar observaciones debidas al efecto fotoeléctrico mediante la teoría de la luz como partículas
- Convertir la energía de los fotones a eV
- Resumir cómo puede determinarse experimentalmente la semivida
- Aludir incorrectamente a estrellas u “objetos” en vez de a galaxias cuando se describe la expansión
- Describir el significado de AM
- La explicación de la multiplexación por división de tiempo
- No emplear ganancia negativa para un amplificador inversor
- La dependencia entre resolución y longitud de onda
- Los mecanismos para la absorción de luz y la dispersión
- La cinemática relativista, especialmente la simultaneidad
- La carga de los distintos quarks

### Áreas del programa y del examen en las que los alumnos demostraron estar bien preparados

Muy pocos alumnos responden menos o más de dos opciones.

Se escriben las respuestas dentro de la casilla de respuesta provista.

Se han visto mejoras en los conocimientos y la comprensión de las siguientes partes del programa de estudios:

- Circuitos con amplificadores operacionales: la demostración de la fórmula de la ganancia.
- Identificar la longitud de onda máxima en un diagrama de cuerpo negro.
- Describir el significado de AM.
- Diagramas de rayos.
- Simultaneidad —ha habido mejoras, pero es aún uno de los principales puntos débiles—.
- Cálculos cinemáticos en los que aparece el factor de Lorentz ( $\gamma$ ).
- La energía de la formación de pares.
- El color de los quarks y de los bariones.
- La difracción de rendija sencilla.
- Las transiciones electrónicas.

## Puntos fuertes y débiles de los alumnos al abordar cada una de las preguntas

**NS:** Popularidad aproximada en porcentaje

E 70 %; G 60 %; I 30 %; H 25 %; F 10 %; J 5 %.

**NM:** Popularidad aproximada en porcentaje

A 45 %; B 40 %; C 10 %; D 5 %; E 45 %; F 10 %; G 45 %.

## Opción E: Astrofísica

*La opción más popular. Casi siempre en combinación con la opción G.*

### Pregunta 1 del NS y pregunta 13 del NM      Estrellas en un diagrama HR

En el apartado (a) casi todos supieron nombrar los tipos de estrellas. En (b), la proporción entre los radios de las estrellas fue normalmente correcta; muchos alumnos pasaron por alto la raíz cuadrada. Se indicaron correctamente por lo general el brillo aparente y la potencia de una estrella en (c)(i). Los errores consistieron normalmente en indicar potencia por segundo o energía. El apartado (c)(ii) se resolvió también bien, aunque fueron habituales los errores aritméticos. En (d), casi todos los alumnos encontraron la longitud de onda máxima de la estrella y trazaron un gráfico apropiado. Pregunta en general muy bien respondida.

### Pregunta 2 del NS y pregunta 14 del NM      Estrellas binarias eclipsantes

El apartado (a) arrojó una gran variedad de posibilidades para la posición orbital de la segunda estrella. Muchos la situaron en el círculo erróneo. En (b), la condición para observar las binarias eclipsantes consiste en que las estrellas orbiten en un plano que contiene a la Tierra. Esto no

demonstraron conocerlo. En el apartado (c), muchos no se percataron de que habrá dos mínimos estrechos desiguales cada 10 años.

### Pregunta 3 del NS y pregunta 15 del NM      Expansión del universo

En (a), fueron demasiados los alumnos que simplemente repitieron la pregunta en lugar de afirmar que la expansión se refiere a las galaxias que se van alejando entre sí. En (b)(i), se mencionó normalmente la radiación de fondo de microondas. El hecho de que la radiación de fondo era ya una predicción del modelo del Big Bang, mucho antes de su descubrimiento, se mencionó a veces en (b)(ii). La mayoría logró mencionar que el enfriamiento y el incremento en longitud de onda de la radiación de fondo son coherentes con el modelo del Big Bang.

### Pregunta 4 del NS solamente      Evolución estelar

En el apartado (a), la mayoría de los alumnos mencionaron correctamente la ecuación de masa-luminosidad y la utilizaron para determinar el rango de luminosidad de la estrella. Muchos respondieron bien al apartado (b)(i), pero fueron también muchos quienes no aludieron a que la masa remanente o nuclear estaría por debajo del límite de Chandrasekhar. En (b)(ii), hubo demasiados alumnos que dijeron que la fusión continuaría produciéndose en una enana blanca. En el apartado (b)(ii), casi siempre se mencionaron correctamente el carbono o el oxígeno. En (c), se esperaba que se mencionara la presión de degeneración electrónica y muchos lo hicieron, aunque también se mencionó, incorrectamente, la presión de la radiación de fusión.

### Pregunta 5 del NS solamente      Ley de Hubble

En el apartado (a), no hubo apenas respuestas incorrectas. En el apartado (b), fueron demasiados los alumnos que perdieron 1 punto por usar una potencia de diez errónea para la velocidad en la constante de Hubble.

## Opción F: Comunicaciones

*Elegida por pocos alumnos.*

### Pregunta 6 del NS y pregunta 16 del NM      Modulación en amplitud (AM)

El apartado (a) tuvo mejores respuestas que en años anteriores, aunque pocos recordaron mencionar que la AM es una manera de transferir datos o información. En el apartado (b), se dieron casi siempre correctamente el ancho de banda y el espectro de potencia. La mayoría sabía que los dos dispositivos de (c) eran amplificadores.

### Pregunta 7 del NS y pregunta 17 del NM      Muestreo

En (a), se multiplicó a menudo la frecuencia de muestreo por 16, en vez de multiplicar por 32 para hallar la tasa de bits. En (b), la mayoría de los alumnos llegaron a mencionar que la tasa de muestreo o la tasa de bits necesitaría aumentar, aunque no supieron explicar por qué. En el apartado (ii), se utilizó a menudo el inverso de la tasa de bits. Sin embargo, la pregunta se

refería al tiempo de una muestra. En (c), una minoría de alumnos utilizó el espacio del diagrama para explicar la multiplexación por división de tiempo.

### Pregunta 8 del NS y pregunta 18 del NM      Fibras ópticas

Por lo general, no se explicó bien la reflexión interna total. Fueron demasiados los alumnos que dieron explicaciones desordenadas y que dudaban de cuál era el ángulo crítico.

El valor del ángulo crítico fue frecuentemente erróneo en el apartado (b) por utilizar un par incorrecto de índices de refracción. En (c), hubo a menudo confusión entre la atenuación y la dispersión.

### Pregunta 9 del NS y pregunta 10 del NM      Amplificador operacional (AO)

La impedancia infinita de entrada y la impedancia nula de salida fueron las respuestas más populares a (a). El apartado (b) se pregunta con frecuencia y muchos saben ya dar una demostración convincente de la ganancia. En (c)(i), la ganancia es -12, pero fueron muchos los que omitieron el signo negativo. No obstante, se aplicó la política de errores por arrastre para permitir utilizar la respuesta errónea en los apartados (ii) y (iii)

## Opción G: Ondas electromagnéticas

*La segunda opción más popular tras Astrofísica.*

### Pregunta 10 del NS y pregunta 19 del NM      La naturaleza de las ondas electromagnéticas

En (a), los alumnos por lo general mencionaron: transversal, E perpendicular, oscilaciones en B y velocidad c en el vacío. En general, se mostraron más dubitativos sobre la absorción y la dispersión en (b); muchos vinieron a decir que la absorción es absorción y la dispersión es dispersión. Se pasó por alto muchas veces la interacción con los niveles de energía en los átomos o moléculas. Prácticamente todos lograron indicar una aplicación de los láseres en (c).

### Pregunta 11 del NS y pregunta 20 del NM      Lupa y telescopio

El diagrama de rayos para la lupa estuvo casi siempre bien en (a). Todos los alumnos sabían que la imagen era virtual, pero con frecuencia expresaron de manera vaga e imprecisa lo que esto significa. El apartado (b) se resolvió también bien y hubo unos pocos alumnos que cometieron errores con las potencias de diez al calcular el aumento angular del telescopio.

### Pregunta 12 del NS y pregunta 21 del NM      Interferencia de dos rendijas

En el apartado (a), con frecuencia se respondió la difracción en cada rendija, seguida de una diferencia de caminos y la subsiguiente interferencia constructiva o destructiva, aunque a veces de forma torpe. Resulta evidente que no todos los alumnos se toman 30 segundos para planificar el orden en que van a presentar los pasos en su argumentación. El apartado (b) no

era difícil, pero muchos perdieron 1 punto por no utilizar  $n = 3$ . Si se resaltaran este hecho en el enunciado, este tipo de descuidos se podrían evitar.

### Pregunta 13 del NS solamente                      Rayos X

En (a)(i), se daban 3 puntos por la anotación del diagrama de espectro de rayos X. No todos los alumnos reparan en que esto significa que han de incluir tres elementos en su respuesta. En el apartado (ii), fueron normalmente correctos la disminución en  $\lambda_{\min}$  y el aumento en intensidad. El apartado (b) era un reemplazo muy sencillo en la ecuación de  $\lambda_{\min}$ . El apartado (c) provocó bastantes problemas. Muchos asumieron erróneamente que utilizar  $n = 2$  daría la separación angular de  $n = 1$  y  $n = 3$ . Máximos de rayos X Muchos olvidaron el factor de 2 en la fórmula de Bragg. No obstante, hubo muchas respuestas correctas.

## Opción H: Relatividad

### Pregunta 14 del NS y pregunta 11 del NM                      Cinemática relativista

Se respondió muy bien el apartado (a). Este año casi nadie trabajó en segundos, por lo que las respuestas se obtuvieron con facilidad. Como es habitual, hubo alumnos que interpretaron la dilatación temporal al revés de cómo debe ser. El intervalo de tiempo para los relojes en la Tierra se dilata (se hace más largo), pero algunos alumnos creen que se dilata en el reloj “en movimiento”. Es mejor no pensar en el movimiento, sino fijarse en que el reloj registra el intervalo temporal más corto en ambos sucesos. En (b), un error conceptual muy habitual con la longitud propia es el de decir únicamente que el objeto tiene que ser medido en el mismo sistema de referencia que en el que está el observador. Esto es siempre cierto, naturalmente, pero solo se trata de la longitud propia si el objeto se encuentra en reposo en el sistema de referencia del observador. Todo está en el sistema de referencia de cualquier otra cosa. Poco a poco, cada vez más son más los alumnos que responden correctamente a las preguntas sobre simultaneidad. Este año, casi un 3 % supo explicar correctamente por qué la luz B emite ondas antes que la luz F, tal como se percibe desde el sistema de la nave espacial. El otro 97 % pensó que lo que se preguntaba era qué luz vería primero el observador en la nave espacial.

### Pregunta 15 del NS solamente                      El experimento Michelson–Morley

Un gran número de alumnos respondió correctamente a los apartados (a) y (b). La principal dificultad parece radicar en entender la razón de la rotación de  $90^\circ$  del interferómetro.

### Pregunta 16 del NS solamente                      Mecánica relativista

En el apartado (a), la  $E_c$  se identificó con facilidad y se añadió a la energía en reposo del protón. Apartado (b): En toda pregunta con unidades expresadas en función de MeV y  $c$  hay un margen enorme para la confusión. No obstante, cada vez es mayor el número de alumnos que saben utilizar correctamente la ecuación relativista de la energía y el momento ( $E^2 = (mc^2)^2 + p^2c^2$ ), al darse cuenta de que esta se convierte en la  $E^2 = m^2 + p^2$  pitagórica cuando se utilizan

las unidades más sencillas. El error más habitual fue el de intentar utilizar el valor de  $c$  en el cálculo, en lugar de simplemente ceñirse a los valores dados. En (c), frecuentemente se halló  $\gamma$  correctamente y se convirtió en una velocidad, pero muchas veces fue necesario permitir errores propagados.

### Pregunta 17 del NS solamente                      Gravitación

De manera bastante sorprendente, los alumnos lograron explicar la curvatura del espacio-tiempo y el trayecto más corto recorrido por un planeta, pero no supieron explicar cómo la fuerza gravitatoria causa el movimiento centrípeto.

### Pregunta 18 del NS solamente                      Relatividad general

En el apartado (a), la mayoría de los alumnos trazaron una trayectoria de proyectil para (ii), aunque creyeron que la luz se desplazaría en horizontal para el observador del cohete en (i). El apartado (b) era un reemplazo sencillo en la fórmula del desplazamiento de la frecuencia gravitatoria. Muchos olvidaron elevar al cuadrado la velocidad de la luz o no lograron dar un valor negativo para  $\Delta f$

## Opción I: Física médica

### Pregunta 19 del NS solamente                      El oído

El apartado (a) valía 4 puntos, por lo que se esperaba una explicación detallada en la que recogieran los procesos físicos por su nombre, y no simplemente las partes con sus nombres biológicos. No obstante, muchos hicieron un notable esfuerzo e incluyeron más de cuatro elementos a los que poder dar puntos. En (b), la mayoría de los alumnos sabían que la intensidad era potencia por metro cuadrado, pero cometieron errores con  $\mu W$  y  $mm^2$  aun cuando en esta ocasión era bienvenida la ignorancia. Los errores en las potencias de diez son la causa más habitual de la pérdida accidental de puntos. El apartado (b) se respondió bien, pero a menudo con errores por arrastre dados por buenos. En el apartado (c), se mencionó a veces la respuesta logarítmica del oído, y muchos identificaron los cocientes de intensidad idénticos. No fueron muchos los que supieron vincular de forma convincente las dos ideas.

### Pregunta 20 del NS solamente                      Toma de imágenes de rayos X/tomografía computarizada

El apartado (a) contiene dos preguntas estándares y se respondió bien. Muchos alumnos resolvieron bien la comparación entre los procesos de tomografía computarizada y las imágenes de rayos X convencionales. Entre los problemas habituales estuvieron el de no mencionar que las imágenes de tomografía computarizada se toman desde todos los ángulos durante la rotación y que la tomografía computarizada implica una dosis absorbida mucho mayor.

### Pregunta 21 del NS solamente                      Ultrasonidos

El apartado (a) fue un punto fácil, aunque se mencionó demasiadas veces la velocidad de la luz. En (b)(i), muchos alumnos pasaron por alto los datos y respondieron utilizando sus conocimientos previos. El coeficiente de reflexión se calculó por lo general correctamente en (b)(ii). El apartado (b)(iii) se respondió mal. La mayoría de los alumnos no dedicaron tiempo a analizar lo que estaba sucediendo. Dos atenuaciones y una reflexión, luego  $I = 0,4 \times 0,34 \times 0,4I_0$  para los 3 puntos, pero se vieron muy pocas respuestas correctas.

#### Pregunta 22 del NS solamente

#### Terapia de radiación

El apartado (a) constaba de dos puntos fáciles. En (b)(i), muchos simplemente definieron la semivida normal, sin decir que aquí afectaba a la actividad dentro del paciente. El cálculo de dosis equivalente no se hizo bien en (b)(ii); muchos pasaron por alto el período de tiempo de 8 horas o no supieron convertir MeV a J. Los prefijos multiplicadores de unidades también dieron problemas.

### Opción J: Física de partículas

*Relativamente pocos alumnos eligieron esta opción.*

#### Pregunta 23 del NS y pregunta 12 del NM

#### Partículas e interacciones

En (a)(i), con frecuencia no se mencionó que las antipartículas tienen igual masa. La mayoría entendió que los antineutrones y los neutrones no pueden ser idénticos al tener diferente estructura de quarks o números bariónicos opuestos. El apartado (b)(i) se resolvió por lo general correctamente en parte. Pocos mencionaron que las partículas de intercambio son bosones. Los alumnos respondieron correctamente los apartados (ii), (iii) y (iv) solo cuando conocían las cargas de los distintos quarks en el diagrama de Feynman. Alrededor de la mitad sí que lo sabían. Un simple reemplazo en la ecuación del cuadernillo de datos permitió a la mayoría de alumnos determinar la masa de un pion en el apartado (c).

#### Pregunta 24 del NS solamente

#### Producción de partículas y

#### aceleradores

El apartado (a) se respondió bastante bien, mencionando la menor cantidad de energía con menor pérdida de radiación en el acelerador lineal. El apartado (b) no se respondió bien; muchos alumnos no sabían qué energía utilizar para la  $E_A$  o tuvieron las dificultades habituales con las unidades. Un buen consejo aquí es el de permanecer en unidades MeV y olvidarse de la "c". En el apartado (c), se mencionó algunas veces la pérdida de energía debida a la radiación.

#### Pregunta 25 del NS solamente

#### El modelo estándar y el principio de

#### exclusión de Pauli

El apartado (a)(i) se respondió mal; muchos afirmaron simplemente que no se conserva el número de leptones. Tienen que concretar. En (ii), un error habitual fue el de pensar que el número bariónico no se conserva, cuando de hecho es la carga la que no se conserva. El diagrama de Feynman de (b) fue rara vez correcto. Fueron demasiados los alumnos que

dibujaron vértices que no conservaban la carga. No obstante, se lograron puntuaciones parciales por identificar el bosón Z o por direcciones de flecha correctas. En (c)(i), a menudo se enunció incorrectamente el principio de exclusión de Pauli; solo es aplicable a los fermiones idénticos. En los apartados (ii) y (iii), la mayoría de los alumnos mencionaron correctamente el “color” en sus explicaciones. Muchas veces se dijo que los hadrones son “blancos”, en lugar de “incolores”.

#### Pregunta 26 del NS solamente

#### El universo primitivo

El apartado (a) es una pregunta habitual. El error típico consistió en utilizar un solo electrón o desarrollar mezclando unidades. En el apartado (b), muchos alumnos hicieron el esfuerzo de explicar, recurriendo a su respuesta anterior, por qué la formación de pares partícula-antipartícula se haría imposible al enfriarse el universo. Normalmente supieron explicar la aniquilación de la materia y de la antimateria. Mostraron menos seguridad al explicar el desequilibrio inicial o subsiguiente.

### Opción A: Visión y fenómenos ondulatorios

#### Pregunta 1 del NM solamente

#### Bastones

En el apartado (a), se dibujó bien la forma general del gráfico, aunque no se conocía bien la longitud de onda para la sensibilidad máxima. Las respuestas al apartado (b) fueron casi siempre correctas a medias. Rara vez se mencionó la falta de sensibilidad de los conos en la región roja. Fueron muy pocos los alumnos que aludieron correctamente al gráfico como se pedía en la pregunta.

#### Pregunta 2 del NM solamente

#### Ondas estacionarias

Muchos respondieron bien al apartado (a), pero a menudo se expresó torpemente la idea de la superposición de ondas incidentes y reflejadas. Los alumnos parecen haber memorizado la definición de cómo se forma una onda estacionaria, aunque a menudo les costaba ver cómo se aplicaría a esta situación. El apartado (ii) era fácil si el alumno sabía que la longitud de onda era  $4L$ . Muchos utilizaron simplemente  $L$  u otros múltiplos de  $L$ . El apartado (b) suponía también 2 puntos fáciles siempre y cuando se recordara que las ondas eran longitudinales.

#### Pregunta 3 del NM solamente

#### Difracción y resolución

Los apartados (a) y (b) sobre la difracción de rendija sencilla se respondieron bien. No obstante, hubo menos respuestas correctas para el apartado (c), en donde se confundieron a veces los efectos de las diferentes longitudes de onda de la luz roja y azul, interpretándose el menor  $\theta$  como peor resolución. Muchas veces se explicó incorrectamente la capacidad de resolución en función de la intensidad de los gráficos trazados.

#### Pregunta 4 del NM solamente

#### Polarización

En el apartado (a), la definición no fue muchas veces suficientemente concreta y se omitió a menudo la idea de que es el vector de campo eléctrico, y no simplemente la luz, el que oscila.

En el apartado (b)(i), muchos afirmaron que el rayo estaría polarizado, pero no dijeron que totalmente. El apartado (b)(ii) fue un punto fácil. Aun cuando no fuera necesariamente correcta la forma exacta del gráfico de intensidad transmitida en (iii), la mayoría de los alumnos sabían que la máxima transmisión ocurriría a  $0^\circ$  y  $180^\circ$ .

## Opción B: Física cuántica y física nuclear

### Pregunta 5 del NM solamente

### El efecto fotoeléctrico

En el apartado (a)(i), se vieron muchas respuestas correctas, pero hubo unos cuantos errores al convertir la energía de los fotones a eV. El apartado (a)(ii) era fácil, pero algunos alumnos creyeron que había que usar la  $E_c$  de los electrones. A los alumnos se les hizo difícil (b) al ser la respuesta poco intuitiva. Muy pocos alumnos parecían saber que igual intensidad de luz significa igual energía total de fotones por segundo. Muchos asumieron que significaba igual número de fotones por segundo. Las respuestas fueron en su mayor parte desordenadas y no reflejaron la argumentación científica lógica que se esperaría en este nivel.

### Pregunta 6 del NM solamente

### El átomo de hidrógeno

En el apartado (a), casi todos dibujaron solamente dos transiciones de las tres posibles. En el apartado (b), muchos alumnos supieron identificar la transición.

### Pregunta 7 del NM solamente

### Desintegración radiactiva

La mayoría de los alumnos se mostraron muy dubitativos a la hora de determinar una semivida muy larga. A menudo se obtuvieron puntuaciones parciales por indicar cómo se obtenía la semivida a partir de la constante de desintegración, pero se omitió normalmente la determinación de la actividad y el número de átomos en la muestra. La mayoría de los alumnos describieron cómo puede hallarse la semivida de un nucleido con una semivida corta. En (b), fueron sorprendentemente pocos los alumnos que sabían la manera sencilla de calcular la fracción remanente. Encontrar el número de semividas transcurridas ( $n$ ). Fracción remanente =  $0,5^n$ . Esto funciona incluso cuando  $n$  no es entero. La mayoría obtuvo al menos 1 punto por hallar la constante de desintegración o el número de semividas. Algunos alumnos asumieron una relación proporcional para la parte no entera de  $n$ .

## Opción C: Tecnología digital

### Pregunta 8 del NM solamente

### Señales digitales

Prácticamente todos respondieron (a) correctamente. En el apartado (b), muchos alumnos pasaron por alto el factor de 2 debido al muestreo estéreo, aunque se dieron por buenos los errores por arrastre y se concedieron puntuaciones parciales.

### Pregunta 9 del NM solamente

### Dispositivo acoplado por carga (CCD)

El apartado (a)(i) debería haber sido muy fácil, pero muchos alumnos cometieron errores por descuido con las potencias de diez. También se cometieron errores en el apartado (ii) al utilizar

anchuras de 2 píxeles para obtener el valor mínimo de resolución o cuando se pasó por alto el aumento. En el apartado (b), hubo muchas respuestas correctas, pero a menudo se repitió la pregunta (p. ej. fotoemisión seguida de acumulación de carga). En (c), la mayoría sabía que la imagen sería más brillante, etc., pero no mencionó la ventaja de un tiempo de exposición menor. Se expresaron con frecuencia afirmaciones generales e insuficientes, como alusiones a la mayor calidad.

## Recomendaciones y orientación para la enseñanza a futuros alumnos

Los temas de las opciones permiten a los alumnos experimentar algunas de las áreas más estimulantes e interesantes de la física. No obstante, no se debe subestimar la importancia de los principios fundamentales de la materia. Las definiciones y los enunciados de las leyes se expresan a veces de forma deficiente o improvisada. En general, los alumnos tienden a empeorar en las partes descriptivas de las preguntas, lo que es frecuentemente la causa de la diferencia entre una calificación final mediocre o buena. Al asignar ejercicios para el estudio en solitario, resulta útil para los alumnos que se les den no solo preguntas numéricas, sino también muchas preguntas de respuesta elaborada que estén calificadas con rigor. Es reconfortante ver que hay más alumnos que organizan sus respuestas con listas de puntos. Esta técnica no solo contribuye a planificar una pregunta de respuesta larga, sino que hace más fiable la calificación de la respuesta. Muy a menudo, las respuestas largas de las preguntas descriptivas son demasiado prolijas. El uso de listas de puntos es una manera de reducir las respuestas innecesariamente elaboradas.

Un error conceptual común es el de que las unidades no importan porque no se suele penalizar el error o la ausencia de unidades en la respuesta final. Esta es una suposición peligrosa, pues los errores en las unidades conducen de manera evidente en los cálculos a valores numéricos incorrectos o a errores en las potencias de diez. Tales errores **sí** se penalizan. El tratamiento riguroso de las unidades es una parte fundamental de cualquier curso de física, pero la evidencia disponible actualmente muestra que un alto porcentaje de alumnos no maneja bien las unidades. Se anima a los profesores a asignar ejercicios que impliquen la manipulación de unidades siempre que sea posible y a asegurarse de que las unidades tengan una presencia destacada en los ejemplos detallados que se proporcionen. La nueva guía de la asignatura hace más hincapié en la enseñanza de las unidades, los prefijos multiplicadores y las potencias de diez. Esto se reflejará en los exámenes a partir de mayo de 2016.

Aunque los exámenes de mayo de 2016 se basarán en un programa de estudios revisado, las pruebas anteriores proporcionan una oportunidad para practicar el estilo de preguntas que se encontrarán los alumnos. Dar a los alumnos respuestas modelo (así como discutir esquemas de calificación anteriores) les permite comprender el nivel de respuestas que se espera. Estas están muchas veces disponibles en los libros de texto de física del IB. En muchos colegios se proporcionan rutinariamente respuestas modelo para los ejercicios del trabajo en casa. Se debería alentar la identificación de las expresiones clave de las preguntas, dada la frecuencia con la que se pasan por alto instrucciones o datos. La puntuación de cada pregunta, indicada en el margen de la hoja, es un indicio útil del nivel de detalle exigido en la respuesta.

Beneficia a todos los alumnos que se les dé la nueva guía de la asignatura y el *Cuadernillo de datos de Física* del IB. Ambos son materiales de aprendizaje útiles y sirven de lista de verificación para el repaso. La guía de la asignatura y el cuadernillo de datos pueden proporcionarse en una versión anotada para los profesores, con referencias a las páginas de los libros de texto, enlaces a sitios web y referencias a preguntas de pruebas anteriores. Aunque su uso requiere tiempo, es muy cómodo ya que ambos documentos están en formato digital. Si no se pueden proporcionar en este formato al principio del curso, las anotaciones pueden ser añadidas por los alumnos durante el transcurso del curso. Se aconseja a los profesores que dediquen sesiones, durante el repaso, a explicar el uso de todas las ecuaciones y datos del cuadernillo de datos. Ahora que los futuros alumnos solo van a poder responder a preguntas de una de las cuatro opciones, es fundamental que los colegios seleccionen una opción que sea popular y también adecuada a las habilidades de los alumnos y del personal docente. Algunos temas opcionales pueden incluir material que los profesores no hayan enseñado o siquiera visto anteriormente. Los departamentos de física pueden necesitar recibir sesiones de formación continua para decidir cuál es la mejor estrategia para enseñar este nuevo material. Esto nuevos temas opcionales van a mantenerse en el futuro previsible, por lo que ahora es un buen momento para desarrollar planes de trabajo revisados o nuevos.

Los formularios de comentarios G2 de los colegios a veces incluyen quejas de que las preguntas piden información que no se encuentra en la guía de la asignatura. Es importante recordar que la guía de la asignatura proporciona un marco, una lista de metas, objetivos y criterios de evaluación y no pretende ser un listado definitivo de hechos. Hay varios libros de texto excelentes del IB que interpretan los diversos objetivos. Los planes de trabajo de los departamentos de física recurrirán normalmente a muchas fuentes adicionales de información en línea. El Centro pedagógico en línea del IB, Wikipedia, Hyper physics, CERN, NASA, Physics.org, outreach.atnf.csiro.au, phys.unsw.edu.au, etc. etc. proporcionan abundante material relevante e inspirador. Los profesores pueden organizar estos materiales como una herramienta de aprendizaje muy valiosa que sirva de complemento a los libros de texto para la enseñanza de las opciones (así como la parte troncal).