



## ALCANCES EN LA COMPRENSIÓN Y CONSTRUCCIÓN REPRESENTACIONAL DE ALUMNOS DE BACHILLERATO AL TRABAJAR EN LABORATORIOS DE CIENCIAS ENRIQUECIDOS CON TIC

**Fernando Flores Camacho**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

**Leticia Gallegos Cázares**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

**Araceli Báez Islas**

ICAT-UNAM Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

---

**Área temática:** Educación en campos disciplinares.

**Línea temática:** 4. El papel de las tecnologías en los procesos educativos, en el marco de los saberes específicos de un campo de conocimiento disciplinar.

**Tipo de ponencia:** Reportes parciales investigación.

---

### **Resumen:**

Este trabajo analiza si los recursos tecnológicos influyen en la comprensión de los alumnos cuando se utilizan sin que exista un control experimental, es decir, cuando simplemente son utilizados de acuerdo con la visión y capacidad tecnológica de cada profesor. Los datos y análisis indican que la introducción en las escuelas de laboratorios de ciencias con una gran variedad de recursos tecnológicos que favorecen un entorno multi-representacional, tiene influencia positiva en la comprensión y posibilidad de representación que logran los alumnos en biología y física, en situaciones diversas de aproximación didáctica de los profesores.

**Palabras clave:** Tecnologías de la información y la comunicación, enseñanza de las ciencias, laboratorios de ciencias, bachillerato, representaciones.

## Introducción

En las últimas décadas se han realizado diversas investigaciones para conocer la influencia en el aprendizaje de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en las aulas, y se ha analizado si los entornos tecnológicos constituyen un nuevo marco o escenario que implique cambios en los procesos educativos (Rogers y Twidle, 2013).

En el caso particular de la enseñanza de las ciencias, se ha investigado cómo diversas tecnologías digitales contribuyen al aprendizaje de los conocimientos científicos. Estos trabajos, generalmente, brindan una propuesta didáctica que es llevada al aula y que se compara con grupos control, que no se utilizan los diseños didácticos empleados en los grupos experimentales. Como resultado, es común que los grupos que han tenido alguna forma de intervención obtienen las mejores evaluaciones. También es frecuente que en esas investigaciones participen investigadores y/o profesores que dominan las tecnologías que utilizarán en el aula, mientras que en los grupos control los profesores no tienen el mismo dominio o, de forma intencional, no incorporan las tecnologías.

Estos trabajos muestran nuevos enfoques y propuestas relevantes, así como la importancia del uso de las TIC en el aula o el laboratorio, sin embargo, no son un reflejo real de lo que ocurre en la gran mayoría de escuelas, donde se invierte en recursos digitales, pero sus profesores no poseen el dominio tecnológico suficiente, o no cuentan con estrategias didácticas que les faciliten el uso de forma adecuada, por lo que cada docente los utiliza como considera conveniente, con distintos enfoques educativos y con variada intencionalidad, en términos del aprendizaje de sus alumnos.

Lo anterior permite preguntarse si los recursos tecnológicos influyen en la comprensión de los alumnos cuando se utilizan sin un control experimental, es decir, son empleados únicamente en función de la visión y dominio de cada profesor (Calderón et al., 2016), así como cuando se implementan en situaciones escolares cotidianas, en las que hay gran diversidad de aproximaciones didácticas sobre el uso de las TIC en las aulas y laboratorios.

Nuestra hipótesis es que, si los alumnos están inmersos en un entorno que favorece el uso de múltiples representaciones, tendrán mayores posibilidades para comprender los conocimientos científicos.

El objetivo del trabajo es analizar, desde un marco representacional aplicado a situaciones de aula, la posible influencia de las tecnologías digitales de los laboratorios de ciencias en la comprensión y posibilidades de representación de los estudiantes del bachillerato en los temas de Genética y Fuerzas y Movimiento, cuando se utilizan en condiciones cotidianas, sin ningún tipo de intervención experimental.

## Desarrollo

### El marco de análisis representacional

Las tecnologías digitales en la enseñanza de las ciencias posibilitan diversas formas de representación externa, que contribuyen a la comprensión del conocimiento científico (Waldrup y Prain, 2013). Sin embargo, poco se ha analizado cómo estos recursos influyen en la construcción y transformación representacional de los estudiantes.

Las representaciones, implícitas (concepciones de procesos en la mente de los sujetos) o explícitas (expresiones en cualquier forma: oral, gráfica y simbólica), son construcciones que se convierten en elementos para interpretar los conceptos, construir explicaciones causales y analógicas e intervenir en los fenómenos experimentalmente. Hay estudios históricos sobre el papel de las representaciones externas en el desarrollo de conceptos y teorías, como es el caso de Faraday, analizado por Nersessian (1990), que muestra cómo las representaciones previas sobre sus conceptos de materia y vacío influyeron en sus ideas de fuerza y campo eléctrico, o el trabajo de Martí y García-Milá (2007) que evidencia cómo los esquemas que elaboraba Darwin contribuyeron a la formación de su teoría de la evolución.

Lo anterior refleja que el análisis de la construcción y transformación representacional constituye un marco teórico para determinar los niveles de comprensión de los conceptos científicos.

Las representaciones de los alumnos, permiten interpretar los recursos cognitivos que construyen en su entorno escolarizado. Los diversos recursos con que cuentan determinan, en buena medida, su nivel de acción y comprensión, así como el conjunto o marco de representaciones de que dispongan, les permitirán dar sentido a lo que se les plantea en la escuela.

El uso de las tecnologías digitales, con sus posibilidades de representar procesos, fenómenos, mediciones y gráficas en tiempo real y simulaciones son, en principio, un valioso aporte para ampliar los marcos representacionales de los alumnos y, por tanto, para la comprensión de modelos y teorías científicas.

### El contexto: laboratorios de ciencias con TIC

Los laboratorios equipados con TIC son un espacio con múltiples oportunidades para la enseñanza de las ciencias, donde las representaciones pueden tener un papel predominante, pues conjugan experimentación, medición y diversas formas de representar los datos (tablas, gráficas, esquemas, simulaciones y videos), además de compartir las representaciones elaboradas por los alumnos en foros y documentos al acceso de todos. Este estudio se realizó en escuelas con laboratorios que tienen todas estas posibilidades y que fueron diseñados y construidos por la Universidad Nacional Autónoma de México (Calderón et al., 2016) para sus dos sistemas de bachillerato, la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), que cuentan con varios de esos laboratorios en cada plantel.

El uso de los laboratorios en cada plantel y las formas de enseñanza no están estandarizados. Cada escuela y profesor define sus formas de trabajo, tanto para asignar laboratorios a profesores y grupos (algunos son

rotativos, otros asignados a un solo profesor por un semestre o un año), como en los procesos didácticos que se llevan a cabo, por lo que los alumnos experimentan gran diversidad de formas de enseñanza y de tiempo de uso de estos espacios.

## Metodología

### Diseño

El estudio consideró tres condiciones: a) trabajar temas de dos materias, para evitar sesgos en el tipo de TIC que se utilizan; b) que dichos temas fueran conocidos previamente por los alumnos, aunque fuera de manera inicial; c) que fueran temas reportados en la literatura como difíciles para los alumnos y sobre los que se tienen reportadas concepciones alternativas.

En la ENP se analizó el tema de genética, incluido en los programas de biología y, en el CCH el tema de fuerzas y movimiento, que pertenece al programa de física (condición a). Se seleccionaron temas con los que los estudiantes están familiarizados debido a su contexto cotidiano o escolar (condición b). De acuerdo con la literatura, son temas complejos y los estudiantes tienen diversas concepciones alternativas (condición c).

Para conocer las representaciones que tienen los estudiantes sobre los temas de genética y fuerzas y movimiento, fueron diseñados y aplicados 2 cuestionarios, cada uno perteneciente a cada tema. Los instrumentos fueron previamente validados (Flores-Camacho, García-Rivera, Báez-Islas, y Gallegos-Cázares, 2017).

Se realizaron dos tipos de análisis. Cuantitativo: análisis de varianza, para conocer las diferencias significativas entre las medias de las respuestas de los cuestionarios. Cualitativo: análisis de las diferencias de comprensión y formas de representación externa de los alumnos en ambos temas.

### Muestra

Conformada por dos grupos: alumnos que llevaron las asignaturas de biología y física en los laboratorios con TIC (LabconTIC) y alumnos que las cursaron en los laboratorios sin TIC (LabsinTIC). Todos los alumnos cursaban el mismo año escolar; semestres 2016 -1 y 2016-2.

En la ENP, participaron, a solicitud nuestra y de manera voluntaria, docentes de cuatro planteles, quienes aplicaron el cuestionario de genética a sus alumnos. En el CCH, la Dirección General convocó a profesores de los cinco planteles, quienes aplicaron el cuestionario de fuerzas y movimiento a sus alumnos.

Las muestras no son aleatorias, pero sí significativas en términos de cumplir con los criterios de uso diferenciado de los recursos tecnológicos y de formas distintas de utilizarlos en las aulas, según el enfoque de cada docente.

Los cuestionarios fueron aplicados a un total de 663 alumnos, 387 corresponden al tema de genética (ENP) y 276 al de fuerzas y movimiento (CCH), como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1:** Organización de la muestra por grupo y sistema

LAB CON TIC		LAB SIN TIC	
ENP	CCH	ENP	CCH
170	115	217	161

## Instrumentos

Se elaboraron dos cuestionarios, uno para genética y otro para fuerzas y movimiento. Los ítems se construyeron con la finalidad de que los alumnos explicitaran sus representaciones a partir de preguntas e instrucciones que promovieran los diversos niveles de explicitación representacional, que van desde la representación pictórica de acciones en el primer nivel, hasta la representación con modelos y teorías en el cuarto nivel, pasando por niveles intermedios descriptivos y simbólicos, de acuerdo con los niveles propuestos por Kozma y Russell (2005). También se consideró que los cuestionarios estuvieran de acuerdo con el denominado Conocimiento Integrado, referido a la habilidad de generar ideas relevantes, así como conectar ideas para elaborar mejores explicaciones (Lee, Liu y Linn, 2011).

El cuestionario de genética consistió en 13 preguntas, cuatro de ellas con incisos. Abordaron la identificación gráfica de estructuras del material genético en diversos niveles de organización, representaciones y explicaciones de mecanismos de herencia y especialización celular. El cuestionario de fuerzas y movimiento se integró por 22 preguntas sobre la representación por medio de vectores de variables del movimiento (velocidad, aceleración y fuerza), y el uso de la tercera ley de Newton.

Ambos cuestionarios se calificaron con rúbricas desarrolladas con una escala de 0 a 5, adaptando los criterios de Wilson (2005), y considerando los niveles representacionales de Kozma y Russell (2005) y del Conocimiento Integrado, obteniendo así seis niveles. En la figura 1 se ejemplifica el uso de las rúbricas.

**Figura 1:** Resultados del análisis de varianza para el cuestionario de genética.

Pregunta	Media		F	p
	Lab con TIC	Lab sin TIC		
1	3.05	2.80	11.369	.001
2	3.61	3.18	24.502	.000
3	3.17	2.47	30.427	.000
4	3.07	2.27	39.673	.000
5	3.38	2.42	93.339	.000
6	2.98	2.11	60.439	.000
7 a, b	3.04	2.32	27.774	.000
7 c	2.98	2.14	42.532	.000
7 d	3.24	2.18	58.706	.000
7 e, f, g	3.45	2.79	57.191	.000
8 a, b	3.14	2.32	55.136	.000
8 c	3.25	2.37	75.651	.000
9 a, b	3.71	2.99	73.042	.000
9 c	3.38	2.53	55.66	.000
10	3.32	2.82	27.831	.000
11	3.32	2.55	56.914	.000
12	2.91	2.28	40.889	.000
13 a, b, c, d, e, f, g	3.99	3.09	49.266	.000

Nota. Las preguntas 1, 2, 5, 7defg, 8abc y 12 buscan explicaciones que den cuenta de cuál es la información que los progenitores heredan y cuáles son los mecanismos que explican la variabilidad genética en la expresión de caracteres. Las preguntas 3, 4, 6, 7abc y 13abcdefg indagan, mediante el uso de representaciones externas, la comprensión de los alumnos sobre cómo se organiza la información genética, qué información genética está presente en una célula haploide y en una célula diploide, y cómo se relaciona esta información con la expresión de un carácter (relaciones genotipo-fenotipo). Las preguntas 9abc, 10 y 11 están referidas a explicaciones sobre las alteraciones genéticas.

## Resultados

Primero se presenta el análisis cuantitativo para cada tema y, posteriormente, el cualitativo. En el análisis cuantitativo hubo un tratamiento diferenciado de los datos porque en el tema de genética las diferencias entre los grupos con TIC y sin TIC son más contundentes a favor de los alumnos que trabajaron en los laboratorios con TIC, mientras que, para el caso de física, las diferencias son menores, si bien significativas en aspectos clave, como se detallará en este apartado.

### I) Análisis cuantitativo

#### Tema: Genética

El análisis de varianza (ANOVA-SPSS) mostró diferencias significativas en todas las preguntas entre ambos grupos, indicando que los alumnos que cursaron la materia de biología en los laboratorios con TIC responden mejor el cuestionario que los que la llevaron en los laboratorios sin TIC. La figura 2 presenta los datos obtenidos para un nivel de significatividad  $p \leq 0.05$ .

La pregunta 1 obtuvo el valor más bajo de  $F$  (11.3), las demás preguntas mostraron valores superiores a 24, y la pregunta 5 alcanzó el valor más alto de  $F$  (93.3). Las preguntas 1 y 5 requerían explicaciones conceptuales. La pregunta 1 atendía la herencia de caracteres de padres a hijos de manera general, y los

resultados muestran que las respuestas de los alumnos de ambos grupos fueron similares. La pregunta 5 solicitaba una explicación de las diferencias entre la información de las células de uno de los progenitores, los alumnos del grupo LabconTIC dieron respuestas que se ubicaron entre los niveles 2 a 5 de la rúbrica, y los alumnos del grupo LabsinTIC, respondieron entre los niveles 0 y 5. La diferencia de más de un punto en la media entre los grupos para esta pregunta puede relacionarse con la posibilidad de que los estudiantes que contaron con tecnología tuvieron más oportunidades para observar diferentes tipos celulares y su material genético.

Para tener una idea de las diferencias típicas en las respuestas de los alumnos en los distintos niveles de la rúbrica, se presentan fragmentos de dos alumnos, correspondientes a la pregunta 9 incisos a y b, que se ha incluido en la nota de la figura 1.

1. Alumno grupo LabsinTIC; con nivel 3 en la rúbrica (inciso a):

*“Sí, en el síndrome de Down ocurre que en el cromosoma 21 no hay una separación (rompimiento), este queda unido alterando así la información”.*

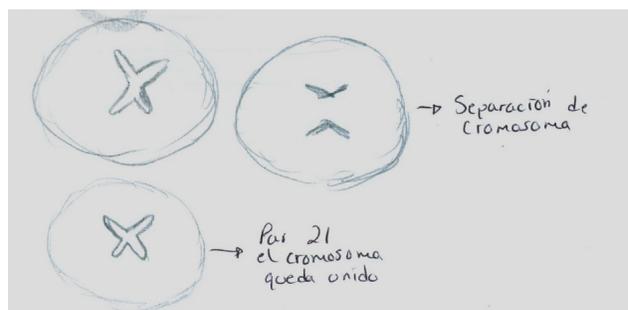
2. Alumno grupo LabconTIC; con nivel 3 en la rúbrica (inciso a):

*“Sí es cierto. El síndrome de Down es una alteración en la que se tiene un cromosoma de más en el par 21 por lo tanto es una alteración genómica”.*

Hasta este momento, ambas respuestas logran una comprensión del tema (Integración del Conocimiento) que los ubica en nivel 3, pues reconocen que el síndrome de Down es una alteración genética que ocurre en el cromosoma 21, sin dar alguna explicación que dé cuenta de por qué ocurre. Sin embargo, al analizar el inciso b, es posible notar diferencias en su construcción representacional, como se aprecia en la figura 2:

1. Mismo alumno del grupo LabsinTIC; con nivel 3 en la rúbrica (inciso b):

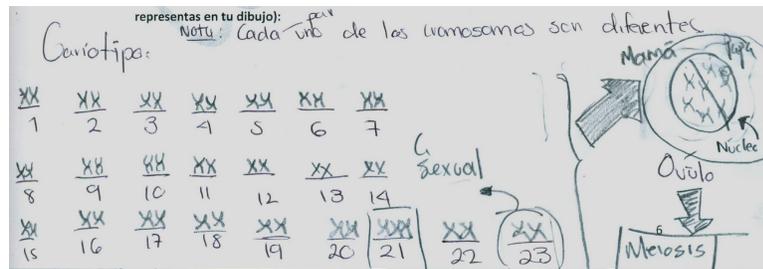
**Figura 2:** Respuesta pregunta 9 b) Lab sin TIC.



En la representación gráfica (figura 3) el alumno representa lo descrito en el inciso a), identifica que el síndrome ocurre debido a que no hay una separación correcta de las cromátides del cromosoma en el par 21; sin embargo, no explicita en qué momento ocurre la separación cromosómica, cuántos pares debe tener la célula del individuo o cómo se representa el cariotipo del individuo con esta alteración.

2. Mismo alumno del grupo LabconTIC; obtuvo el nivel 5 en la rúbrica (para el inciso b):

Figura 3: Respuesta pregunta 9 b) Lab con TIC.



En la representación se explicita el proceso y muestra la comprensión del alumno al reconocer que se requiere un cariotipo para conocer dónde se encuentra la alteración cromosómica, que la información genética está conformada por 23 pares de cromosomas y el proceso en el cual ocurre la alteración genética es la meiosis.

### A) Tema: Fuerzas y movimiento

A diferencia del tema de genética, en el caso de fuerzas y movimiento los resultados no son tan contundentes, pues la mayoría de las preguntas no presentan diferencias significativas. Sin embargo, los datos son relevantes en términos de la comprensión del proceso físico.

El análisis de varianza (ANOVA-SPSS) muestra diferencias significativas en 6 de las 17 preguntas. La figura 4 muestra los resultados para una significatividad de  $p \leq 0.05$  (se presentan solo los resultados con diferencia significativa).

Figura 4: Resultados del análisis de varianza para el cuestionario de fuerzas y movimiento.

Pregunta	Media		F	p
	Lab con TIC	Lab sin TIC		
1.2	2.11	1.99	29.797	.026
1.5	2.02	1.73	9.683	.019
1.7	2.48	2.22	6.572	.011
1.9	2.17	1.85	2.532	.011
1.11	2.28	2.04	2.818	.031
1.12	2.08	2.48	17.892	.005

Nota. Pregunta 1.2 indaga sobre los efectos (aceleración) de los conductores en la colisión (vehículos diferentes); pregunta 1.5 pide una representación gráfica de fuerza contra tiempo durante la colisión; pregunta 1.7 es sobre procesos de medición de fuerzas y movimiento con distintos medios; pregunta 1.9 es directa sobre la comprensión de la tercera ley de Newton; preguntas 1.11 y 1.12 indagan también sobre las fuerzas presentes y los efectos en los conductores pero con condiciones de vehículos iguales.

Los valores obtenidos en las medias muestran que los ítems 1.2, 1.5, 1.7, 1.9 y 1.11 del grupo LabconTIC obtienen mayor nivel en la rúbrica, principalmente la pregunta 1.2. En el grupo LabsinTIC, la pregunta 1.12 obtiene una media mayor que el grupo LabconTIC. Sobre el tipo de demanda de los ítems, la pregunta 1.2 implica la descripción de los efectos que sienten los conductores de los vehículos que colisionan, y se espera una respuesta relacionada con aceleración; la pregunta 1.5 implica la representación gráfica del comportamiento de la fuerza durante el choque; la pregunta 1.7, concierne a cómo medir la fuerza con distintos medios de registro; la pregunta 1.9 aborda la aplicación de la tercera ley de Newton; y la pregunta 1.11 es semejante a la 1.2 cambiando las condiciones de los vehículos de diferentes a iguales.

Aunque son pocas las preguntas con diferencias significativas entre los grupos LabconTIC y LabsinTIC, en ellas se centra la comprensión del proceso en términos de la aplicación de la tercera ley de Newton, la descripción del comportamiento de la fuerza en el tiempo y los efectos en términos de aceleración.

La pregunta 1.12 donde el grupo LabsinTIC aventaja al grupo LabconTIC, refiere a la representación vectorial de las fuerzas y es la que puede encontrarse usualmente en los libros de texto. Las preguntas que no fueron significativamente diferentes involucran aspectos como velocidad, fuerza de gravedad, inercia y cómo representarlas vectorialmente y en el tiempo.

Para ejemplificar las diferencias en las respuestas de los diferentes niveles de la rúbrica, se presentan dos respuestas típicas para la pregunta 1.9 que dice: “Si alguien te preguntara si en esta situación vale o se aplica la tercera ley de Newton, ¿qué le responderías y cómo le explicarías tu respuesta? Si lo requieres, para apoyar tu respuesta realiza uno o varios dibujos de tu explicación”.

3. Alumno del grupo LabsinTIC; nivel 3 en la rúbrica:

“A toda acción corresponde una reacción de igual magnitud, pero en sentido contrario”. El auto y el tráiler chocaron, pero el impacto hizo que regresaran y se produjo un rebote”.

Este alumno enuncia las fuerzas de acción y reacción, pero no explica cómo se aplica a cada vehículo e introduce factores ajenos a la pregunta. Su dibujo (figura 5) es congruente con su explicación y obtiene el mismo nivel.

**Figura 5:** Respuesta gráfica a pregunta 1.9 (alumno Lab sin TIC).

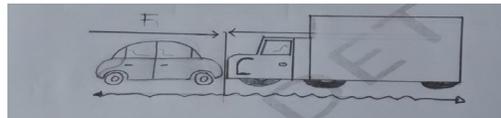


4. Alumno del grupo LabconTIC; nivel 5 en la rúbrica:

“Le respondería que sí, ya que un objeto (el auto) está aplicando una fuerza sobre el otro (el tráiler) de igual magnitud, pero en sentido contrario”.

Este alumno describe correctamente la aplicación de la tercera ley de Newton, sin embargo, como ocurrió con todos los alumnos de la muestra de este tema, no es consistente con el punto de aplicación de las fuerzas y en su dibujo (figura 6), solo alcanza el nivel 3 de la rúbrica.

**Figura 6:** Respuesta gráfica a la pregunta 1.9 (Alumno Lab con TIC).



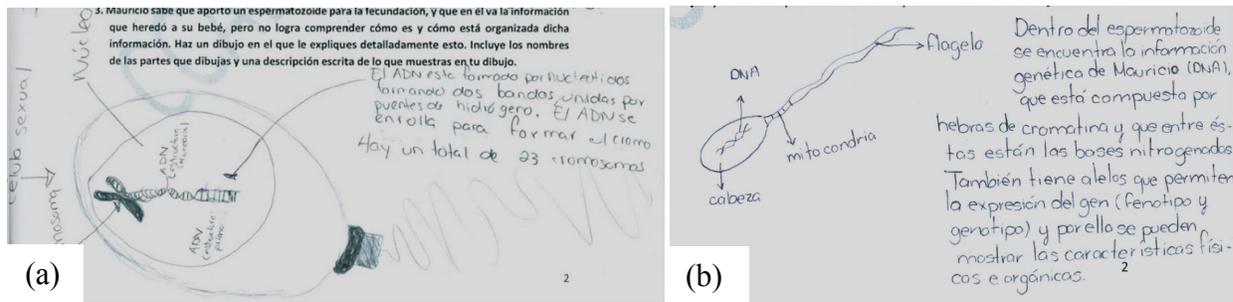
## Discusión

Los resultados muestran que el uso de diversos medios de representación tiene efectos positivos en los alumnos, en cuanto a su comprensión y posibilidad de representar los conocimientos científicos. Muy favorables para biología, y menos relevantes para física. Sin embargo, se mantiene abierta la pregunta sobre las diferencias cualitativas que muestran los alumnos del grupo LabconTIC, sobre cómo explican y usan los conceptos, así como la precisión y claridad con que los representan.

## II) Análisis cualitativo

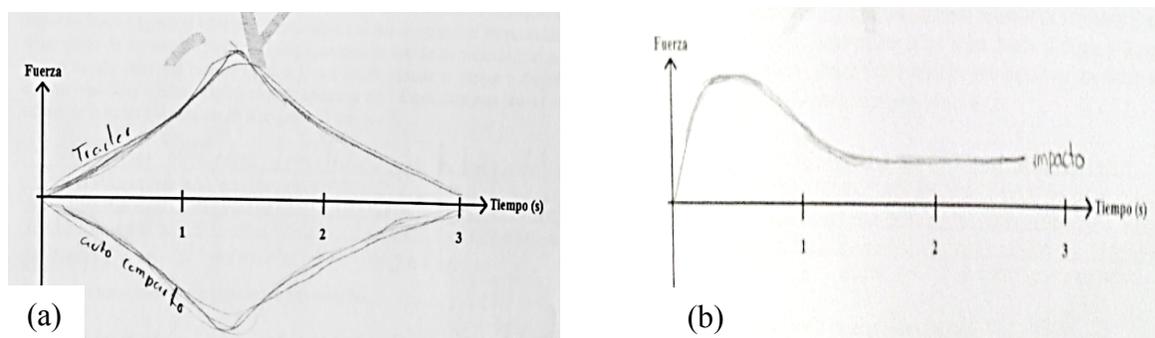
### A) Tema: Genética

Para comprender este tema es necesario reconocer la representación gráfica y simbólica del material genético en diversos niveles de organización. Esto se hace evidente, por ejemplo, en la pregunta 3, que solicita un dibujo que muestre y explique cómo se encuentra la información genética en el espermatozoide. La figura 7 compara dos respuestas con el mismo nivel en la rúbrica (nivel 3), de los dibujos y descripciones de alumnos de ambos grupos. Las explicaciones son similares, pues los dos identifican y enuncian diferentes niveles de organización, sin embargo, en sus representaciones existen diferencias sutiles, lo cual indica que, a pesar de encontrarse en un mismo nivel, las representaciones de los alumnos de LabconTIC pueden ser más completas. La representación del espermatozoide es similar, pero el alumno LabconTIC (a) representa el cromosoma conformado por ADN compactado, el que a su vez está formado por nucleótidos y enfatiza la unión de estos para la formación de la cadena de ADN, mientras que el alumno de LabsinTIC (b), menciona las uniones y otros niveles de organización, pero solo representa el ADN.

**Figura 7:** Ejemplos de las representaciones de los grupos: (a) Lab con TIC y (b) Lab sin TIC.


## B) Tema: Fuerzas y movimiento

Como ocurrió con biología, en física también aprecian diferencias cualitativas en la comprensión y representación que alcanzan los alumnos del grupo LabconTIC, con respecto a los del grupo LabsinTIC. Por ejemplo, en cuanto a posibilidades de representación gráfica, se muestran las respuestas a la pregunta 1.5 “Suponiendo que el choque ocurrió durante tres segundos, desde el momento del impacto hasta que ambos vehículos quedaron en reposo, dibuja en la siguiente gráfica la fuerza (o las fuerzas) sobre el auto compacto. También, explica por qué se comporta así esa fuerza (o fuerzas) conforme a lo que dibujaste”. Ningún alumno del grupo LabsinTIC tiene una respuesta que se acerque a describir el comportamiento de la fuerza, mientras que 6.4% del grupo LabconTIC, representa que, justo en el momento del impacto, la fuerza alcanza su máximo valor y que antes y después del impacto no hay fuerza. La figura 8 ilustra las diferencias de representación.

**Figura 8:** Caso (a) alumno del grupo Lab con TIC. Caso (b) Lab sin TIC.


La figura del caso (a) es una representación aproximada a una descripción física correcta (representa las fuerzas en ambos vehículos). En el caso (b), el alumno del grupo LabsinTIC, muestra el comportamiento de la fuerza sobre un vehículo, pero en éste permanece una fuerza después de la colisión.

## Conclusiones

La introducción en las escuelas de laboratorios de ciencias con diversos recursos tecnológicos influye positivamente en la comprensión y posibilidad de representación de los alumnos, como lo evidencia el que más alumnos que estuvieron en los laboratorios con TIC obtuvieron niveles más altos en la rúbrica y mostraron representaciones esquemáticas y gráficas más completas o más apegadas a los procesos que describen.

Este estudio tiene entre sus hipótesis que un factor relevante de contar con las TIC en los laboratorios es la posibilidad que tienen los alumnos de interactuar con múltiples representaciones, lo que parece más relevante en biología que en física y que es congruente en lo reportado por Calderón et al (2016) donde se muestra que los profesores de Biología y Química usan más y mejor los recursos de los laboratorios. Los resultados indican, que los alumnos del grupo LabconTIC evidencian mejor comprensión, identificación y posibilidad de representación de los conceptos y procesos biológicos, lo que sugiere que, en sus clases, esos recursos son más utilizados y, posiblemente, empleados de mejor forma por los docentes, es decir, con mayor énfasis en las formas de representación externa y sus posibilidades para apoyar la comprensión de los conocimientos científicos.

Este estudio no afirma que la tecnología por sí sola hace alguna diferencia, sino que, hay ventajas cuando es empleada por los profesores de manera intencional, aunque haya diferencias en los enfoques didácticos desde los cuales se emplean.

Hay muchas interrogantes para comprender de los efectos y problemáticas de la incorporación de las TIC como recursos de representación para lograr mejoras en el aprendizaje. Algunas son:

¿Cómo afectan las formas de enseñanza y de interacción de los profesores con sus alumnos cuando en las escuelas se introduce gran cantidad de tecnologías digitales? ¿Cuáles son las razones de las diferencias en los resultados entre los de alumnos de las materias de biología y física?, ¿tienen que ver con la estructura de la disciplina?

Agradecimientos. Este trabajo fue apoyado por Conacyt, con el proyecto 238712.

## Referencias

Calderón-Canales, E., Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L., de la Cruz-Martínez, G., Ramírez-Ortega, J. & Castañeda-Martínez, R. (2016). Laboratorios de ciencias en el bachillerato: tecnologías digitales y adaptación docente, *Revista Apertura*, 8(1), 1-17.

Flores-Camacho F., García-Rivera, B., Báez-Islas, A. & Gallegos-Cázares, L. (2017). Diseño y validación de un instrumento para analizar las representaciones externas de estudiantes de bachillerato sobre genética, *Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa*, 10(2), 151-169.

Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: developing representational competence. En J. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (pp. 121-146). Switzerland, Springer.

Lee, H., Liu, O., & Linn, M. (2011). Validating measurement of knowledge integration in science using multiple-choice and explanation items. *Applied Measurement in Education*, 24(2), 115-136.

Martí, E. & García-Mila, M. (2007). Cambio conceptual y cambio representacional desde una perspectiva evolutiva: la importancia de los sistemas externos de representación. En J. Pozo y F. Flores, (Eds.), *Cambio conceptual y representacional en el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia* (pp. 91-106). Madrid, Antonio Machado Libros.

Nersessian, N. (1990). *Faraday to Einstein: Constructing meaning in scientific theories*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Rogers, L. & Twidle, J. (2013). A pedagogical framework for developing innovative science teachers with ICT, *Research in Science & Technological Education*, 31(3), 227-251.

Waldrup, B. & Prain, V. (2013). Teachers' initial response to a representational focus. En R. Tytler, V. Prain, P. Hubber & B. Waldrup (Eds.), *Constructing representations to learn in science*, (pp. 15-30). Rotterdam, Sense Publishers.

Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates