

# Análisis cualitativo y cuantitativo del impacto de una herramienta de monitorización del aprendizaje en tiempo real

Luis Castillo Vidal

Departamento de Ciencias de la Computación e I.A.

Universidad de Granada

18071 Granada

L.Castillo@decsai.ugr.es

Francisca Sánchez Carrascosa

Acceptare Psicología

fsc.psicologa@gmail.com

## Resumen

El uso de técnicas de medida y análisis del proceso de aprendizaje de los alumnos y la inmediata comunicación de los resultados a los alumnos es una herramienta que, al menos teóricamente, debería mejorar el proceso de aprendizaje y adquisición de nuevas capacidades, pero no es tan directo averiguar de qué forma lo hace. Este trabajo presenta una experiencia de implantación de una herramienta de análisis de las capacidades adquiridas por los alumnos durante las prácticas de laboratorio y su comunicación en tiempo real a los mismos y analiza el impacto que ha tenido. Por un lado un impacto cualitativo, pues los alumnos encuestados declaran haber percibido y haber aceptado un cambio de comportamiento. Pero este cambio también se puede detectar y cuantificar en el registro de actividad de la asignatura: la regulación del esfuerzo es más homogéneo a lo largo de las prácticas, comenzando antes a adquirir las capacidades, consiguiendo más éxitos y con más anticipación.

## Abstract

The use of techniques for measuring and analyzing the learning process of students and the immediate communication of these results to students is a tool that, at least theoretically, should improve the process of learning and acquiring new skills, but it is not so direct to find out how it does so. This work presents an experience of the implementation of a tool for the analysis of the competences acquired by the students during the laboratory practices and their communication in real time to the students and analyses the impact it has had. On the one hand, a qualitative impact, since the students surveyed declare to have perceived and accepted a change in behaviour. But this change can also be detected and quantified in the subject activity record: the regulation of effort is more homogeneous throughout the practices, starting earlier to acquire the skills,

achieving more successes and earlier.

## Palabras clave

Análíticas del aprendizaje, Autorregulación, Adquisición de capacidades

## 1. Introducción

Las técnicas de medición del progreso del alumno en su aprendizaje son tan antiguas como el propio proceso de aprendizaje tutorizado [9] pero es ahora, con la facilidad para registrar la actividad de los alumnos y aplicar potentes técnicas de análisis de datos cuando están empezando a madurar estas iniciativas de forma masiva en todos los niveles educativos. La gran pregunta es ¿para qué se registran esos datos? Y, probablemente la principal respuesta [4] sea para producir un impacto positivo en el mundo de la educación, es decir, para mejorar la experiencia de aprendizaje del estudiante.

Son muchas las formas en las que se manifiesta esta mejora. La mayoría de las veces incrementando la consciencia del profesor respecto al estado de los alumnos y permitiéndole planificar intervenciones de refuerzo o corrección de los mismos con más efectividad y de forma inmediata y personalizada [1], como en las aproximaciones de CBM (*Curriculum-based measurement*) en las que el instructor define estrategias personalizadas a fin de que los alumnos con necesidades especiales puedan alcanzar el éxito como cualquier otro estudiante [3].

Hoy día estas técnicas de monitorización del progreso de los alumnos permiten detectar la existencia de múltiples alternativas en el comportamiento de los alumnos [1, 2] mediante técnicas de minería de procesos y la caracterización del impacto en la nota según este comportamiento [7], incluso encapsular un compilador como *gcc* para informar al profesor del número

de acciones de compilación, errores y mensajes de salida, incrementar su conocimiento sobre las habilidades de programación de ordenadores de cada uno de sus alumnos [5].

Pero estas técnicas y herramientas de medición del progreso de los alumnos no pueden quedarse sólo a nivel del profesor, sino que debe realimentar al individuo que aprende, el cual verá facilitado su proceso de aprendizaje con los mínimos errores posibles [8], si se dividen las etapas de aprendizaje en pequeños pasos y se refuerza de forma inmediata cada paso conseguido. Así también se ayuda a los estudiantes [6] a autorregular su propio proceso de aprendizaje, gracias al conocimiento de si sus acciones le acercan o no al objetivo que pretende alcanzar.

Este trabajo presenta una experiencia durante los últimos cuatro años en la que se mide de forma detallada el progreso del alumno en cuanto va consiguiendo hitos que le acercan al objetivo. No se analizan las acciones ni su organización en planes, eso queda oculto, lo que se analiza es la secuencia de hitos que consiguen esas acciones. Sin embargo, sólo en el último año se ha realimentado a los alumnos, en tiempo real, con estas mediciones, lo que ha producido un cambio en su comportamiento detectable tanto cualitativamente como cuantitativamente. La Sección 2 describe el contexto en el que se ha llevado a cabo esta experiencia y el modelo de monitorización del progreso de los alumnos. La sección 3 hace un análisis cualitativo y cuantitativo de los hallazgos y valora el cambio producido en el comportamiento de los alumnos para terminar en la sección 4 con una reflexión sobre los resultados obtenidos.

## 2. Contexto de la experiencia

Esta experiencia se ha llevado a cabo en las prácticas de la asignatura Desarrollo Basado en Agentes obligatoria de cuarto curso del Grado en Informática de la Universidad de Granada. Las prácticas consisten en diseñar el programa de control del vuelo de un dron en un mundo 3D simulado, que es percibido por el dron mediante un conjunto de sensores y cuya orografía se desconoce de antemano, pero se va descubriendo con los sensores conforme se mueve el dron. En este mundo simulado, el dron debe alcanzar un objetivo que se percibe a distancia y aterrizar en él, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- El dron debe desplazarse hasta allí sobrevolando los obstáculos orográficos que se encuentre.
- Algunos de estos obstáculos son demasiado altos para sobrevolarlos, así que deberá rodearlos.
- Debe recargar la batería periódicamente, para lo cual, debe estar posado en el suelo, independien-

temente de la altura a la que éste se encuentre.

- En caso de que el dron choque contra el suelo, se quede sin batería o intente salir de los límites del mundo virtual se produce un error que cierra la sesión de trabajo.

Estas prácticas están implementadas como un laboratorio virtual [2], de forma que los alumnos pueden abrir una sesión de trabajo en cualquier momento del día, cualquier día de la semana. Este laboratorio virtual está ejecutándose en un servidor dedicado que registra, en tiempo real, cualquier interacción que se produce con los alumnos y, como si fuese la caja negra de un avión, el estado de los sensores del dron en cada momento. Este laboratorio virtual dispone de una serie de problemas, en grado incremental de dificultad, que los alumnos deben resolver con el mismo programa de control de vuelo, razón por la cual suelen visitar los problemas, aunque ya los hayan resuelto, con el objetivo de validar los cambios en la implementación o en busca de mejores soluciones a cada problema.

### 2.1. Un modelo para medir el progreso de los alumnos

El objetivo de este modelo es proporcionar una base normalizada para comparar el comportamiento y el rendimiento de distintos grupos independientemente de la configuración de las prácticas (número de problemas y número de hitos) y de la duración exacta del periodo de prácticas, de forma que se registren qué eventos ocurren y cuándo ocurren, de forma normalizada.

Sea  $\mathcal{C} = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  el conjunto de capacidades que deberían ser adquiridas por cada grupo de alumnos  $\mathcal{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_k\}$  en el transcurso de una práctica durante la cual deben resolver una serie de problemas  $\mathcal{P} = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ . De tal forma es así, que cada problema requiere una serie de capacidades para poder resolverse  $\forall p_j \in \mathcal{P}, \text{cap}(p_j) \subseteq \mathcal{C}$ . Además los problemas están diseñados de forma gradual, de forma que  $\forall p_i, p_j, i \leq j, \text{cap}(p_i) \subseteq \text{cap}(p_j)$ , es decir, que cada problema podría requerir nuevas capacidades siendo el último problema el que requiere el desarrollo de todas las capacidades acumuladas,  $\text{cap}(p_m) = \mathcal{C}$ . Por otro lado, dentro del trabajo en cada problema  $p_j$ , se pueden alcanzar un conjunto de hitos en grado incremental de dificultad, que denominaremos  $\mathcal{H}\{h^1, h^2, \dots, h^r\}$  donde cada hito puede corresponderse con un percentil de completitud de la solución al problema  $j$  y nos da una idea del progreso de los alumnos al resolver el problema  $p_j$ .

Como la resolución de cada problema  $p_j$  se puede encontrar más o menos avanzada que el resto de los problemas, llamaremos  $h_j^k$  al hito  $k$  alcanzado problema  $j$ , o lo que es lo mismo, en términos generales, el percentil  $k$  del problema  $j$ . Así,  $h^0$  indica el momento

	Y	G	T	P	H
a)	19-20,	Bellatrix,	14/10/2019-17:57:34,	0,	0
b)	19-20,	Elnath,	14/10/2019 17:57:49,	0,	0
c)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-17:58:01,	0,	0
d)	19-20,	Keid,	14/10/2019-17:58:19,	0,	0
e)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-18:18:06,	1,	1
f)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-18:18:06,	1,	2
g)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-23:58:54,	1,	1
h)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-23:58:54,	1,	2
i)	19-20,	Haedus,	14/10/2019-23:59:47,	1,	3
j)	19-20,	Keid,	16/10/2019-14:46:02,	1,	1
k)	19-20,	Elnath,	16/10/2019-23:44:18,	1,	1
l)	19-20,	Elnath,	16/10/2019-23:44:18,	1,	2

Figura 1: Extracto del registro de actividad  $\mathcal{R}$ .

en que se abre el servidor para las prácticas, es decir que aún no se ha empezado a trabajar en ningún problema,  $h_j^1$  marca la apertura de un problema para su resolución y  $h_j^r$  es el último hito que se alcanza en un problema y significa que el problema  $j$  se ha resuelto satisfactoriamente, es decir, las capacidades  $cap(p_j)$  se pueden dar por garantizadas.

Se lleva un registro  $\mathcal{R}$  de la actividad llevada a cabo en el servidor, de forma que este registro se anota cada vez que se alcanza cualquier hito de cualquier problema, y se compone de los siguientes atributos:

$$\mathcal{R} = Y, G, T, P, H$$

donde, para cada registro  $r \in \mathcal{R}$ ,  $Y(r)$  es el año académico en curso,  $G(r) \in \mathcal{G}$  es un grupo de alumnos,  $T(r)$  es una marca de tiempo (día y hora),  $P(r) \in \mathcal{P}$  es un problema a resolver y  $H(r)$  es un valor numérico indicando cuál es el hito que se ha conseguido.

La Figura 1 ilustra un ejemplo de este registro. Líneas a-d) Inicio del registro para los grupos cuyos identificadores son, respectivamente, Bellatrix, Elnath, Haedus y Keid ( $h_0^0$ ). Líneas e-f) El grupo Haedus se conecta al problema 1 y consigue el primer hito ( $h_1^1$ ) y el segundo ( $h_1^2$ ) pero no consigue alcanzar el tercero ( $h_1^3$ ). Líneas g-i) Ese mismo día, por la noche, el grupo Haedus se conecta y consigue un hito más,  $h_1^3$ . Línea j) Dos días después, el grupo Keid consigue conectarse al problema 1 ( $h_1^1$ ) pero no consigue dar el siguiente paso. Ese mismo día, por la noche, el grupo Elnath se conecta al problema 1 y consigue dar algunos pasos ( $h_1^2$ ). Durante todo este tiempo el grupo Bellatrix no ha registrado ninguna actividad.

Cada año académico las prácticas pueden comenzar y terminar en días distintos, pudiendo incluso tener duraciones diferentes. Para poder comparar las evoluciones temporales entre grupos de distintos años académicos, se normalizan los valores de tiempo a un referencial común  $[0, 1]$  por cada cada año.

$$\min^y = \min_{r_j \in \mathcal{R}, Y(r_j)=y} T(r_j)$$

$$\max^y = \max_{r_j \in \mathcal{R}, Y(r_j)=y} T(r_j)$$

$$T^n(r_i) = \frac{T(r_i) - \min^{Y(r_i)}}{\max^{Y(r_i)} - \min^{Y(r_i)}}$$

La función  $H_j^k(i, t^n)$  detecta si el grupo  $i$  ha registrado el cumplimiento del hito  $k$  del problema  $p_j$  en algún momento anterior o igual al tiempo normalizado  $t^n$ .

$$H_j^k(i, t^n) = \begin{cases} 1 & \exists r \in \mathcal{R}, G(r) = g_i \wedge T^n(r) \leq t^n \wedge \\ & \wedge P(r) = p_j \wedge H(r) = k \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

De esta forma, se puede definir la curva de rendimiento temporal de un grupo como la acumulación de hitos conseguidos a lo largo del intervalo temporal normalizado. Esta curva de cumplimiento de hitos durante las prácticas viene definida por la función  $R^k(i, t^n)$  la cual representa el número de hitos mayores o iguales a  $k$  conseguidos por el grupo  $i$  hasta la fecha normalizada  $t^n$ , en todos los problemas  $p_j$ . Para poder comparar los resultados de esta herramienta de medida en distintos niveles  $k$ , se normaliza el número de hitos conseguidos entre el número de hitos posibles, de forma que, sea cual sea el valor de  $k$ , la función da un valor en  $[0, 1]$  donde 0 indica que no se ha conseguido ningún hito, y 1 que se han conseguido todos los hitos posibles.

$$R^k(i, t^n) = \frac{1}{|\mathcal{P}| * (|\mathcal{H}| - k + 1)} \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{j \geq k} H_p^j(i, t^n)$$

Así,  $R^1(i, t^n)$  representaría el número de hitos conseguido por un grupo hasta la fecha  $t^n$  que consiste en, al menos, abrir un problema. Esta sería una medida poco exigente del rendimiento de un grupo, pues sólo se pide cumplir con el hito  $h_j^1$  o superior. Sin embargo, también se puede emplear esta función para medir el rendimiento de una forma más exigente, es decir, contando sólo el número de problemas completamente resueltos por el grupo  $g_i$  y que vendría dado por  $R^r(i, t^n)$ ,  $r = |\mathcal{H}|$ . Obsérvese que  $R^r(i, 1)$  nos indica exactamente, cuántos problemas ha resuelto completamente el grupo  $g_i$  al final de la práctica ( $t^n = 1$ ).

## 2.2. El modelo aplicado a la asignatura

En el contexto de la asignatura descrito al comienzo de esta sección se ha implementado el anterior modelo de medición del progreso de los alumnos, de la siguiente forma.

El conjunto de capacidades  $\mathcal{C}$ :

- $c_1$  Crear objetos de programación necesarios
- $c_2$  Establecer comunicación con el servidor
- $c_3$  Leer sensores e interpretar el mundo virtual

- $c_4$  Moverse sin obstáculos orográficos presentes
- $c_5$  Aterrizar en cualquier punto de la orografía
- $c_6$  Sobrevolar obstáculos orográficos
- $c_7$  Aterrizar en el objetivo
- $c_8$  Recargar una vez la batería
- $c_9$  Recargar múltiples veces la batería
- $c_{10}$  Rodear obstáculos demasiado altos
- $c_{11}$  Evitar ciclos de corta longitud en la ruta al rodear un obstáculo que puedan dejar atrapado al dron
- $c_{12}$  Evitar ciclos largos en la ruta

El conjunto de problemas  $\mathcal{P}$

Cada problema  $p_j$  cubre unas determinadas capacidades.

- $p_1$  Cubre las capacidades 1 al 5
- $p_2$  Cubre las capacidades 1 al 7
- $p_3$  Cubre las capacidades 1 al 7
- $p_4$  Cubre las capacidades 1 al 8
- $p_5$  Cubre las capacidades 1 al 9
- $p_6$  Cubre las capacidades 1 al 10
- $p_7$  Cubre las capacidades 1 al 10
- $p_8$  Cubre las capacidades 1 al 11
- $p_9$  Cubre las capacidades 1 al 12

El conjunto de hitos  $\mathcal{H}$

Además de la existencia de un único hito  $h^0$  para todos los problemas, que marca el momento en que se abre el servidor para realizar las prácticas, para cada problema  $p_j$  existen los mismos 5 hitos, que son los siguientes.

- $h_j^1$  Apertura del problema  $j$  en el servidor
- $h_j^2$  Primer movimiento del dron en el problema  $j$
- $h_j^3$  Rregistrado 20 movimientos o una recarga
- $h_j^4$  El dron está a 20 movimientos del objetivo
- $h_j^5$  El dron ha aterrizado en el objetivo

En primer lugar, el Cuadro 1 muestra algunos datos básicos respecto a la población de los cuatro años registrados. En todos ellos, el servidor del laboratorio virtual detecta, en tiempo real, la consecución de cualquiera de los  $h_j^k$  de cualquier grupo y guarda el registro  $\mathcal{R}$  cuyos datos resumidos aparecen en el Cuadro 2.

Es necesario tener en cuenta que los alumnos pueden abrir el mismo problema tantas veces como quieran y, normalmente, no se termina cuando se resuelve por primera vez, sino que vuelven a intentar resolverlo de nuevo, posiblemente en busca de mejores soluciones o para validar cambios en la implementación que se hayan podido hacer durante la resolución de otros problemas.

A la vez, sólo durante el curso 19-20, el servidor publica, automáticamente, una página web, que es pública para los alumnos e informa, también en tiempo real, del progreso de todos los grupos en todos los problemas. La Figura 2 muestra un extracto de esta página,

Curso	16-17	17-18	18-19	19-20
Número de alumnos	53	50	37	50
Número de grupos	9	9	7	12

Cuadro 1: Datos básicos de la población analizada durante los cuatro años comparados.



## Desarrollo Basado en Agentes 2019-2020

Practica2 @19/12/2019\_03:34:02

Identificador	map1	map2	map3
Grupo B	100% 	100% 	50% 
Grupo C	100% 	70% 	0% 

Figura 2: Página web en el servidor de la asignatura, en tiempo real

cada grupo en una fila y cada problema en una columna, con la siguiente información:

- Una barra circular de progreso que muestra visual y numéricamente, el hito más alto conseguido por el grupo  $g_i$  en ese problema  $p_j$ , es decir,  $\max_k h_j^k$ .
- Datos históricos del número de mensajes y conexiones
- Datos sobre la mejor solución encontrada a ese problema (“Best solution”)
- Datos temporales, no normalizados, de la primera vez que se resolvió completamente el problema (“First success”) y el tiempo que ha transcurrido desde la primera conexión a este problema (“Latency”) hasta resolverlo por primera vez.

Como una motivación extra para los alumnos, se ofrecen tres insignias diferentes por cada problema resuelto para distinguir a los grupos con un rendimiento destacable (sólo la primera es exclusiva):

- Insignia “Early Bird” para el grupo que haya resuelto, por primera vez, el problema  $p_j$ , es decir, al grupo que tenga el menor  $T(h_j^5)$
- Insignia “Flash” para los grupos con menor latencia, es decir, que hayan tardado menos en resolver el problema  $p_j$  desde la primera conexión a este problema, lo que significa destacar los grupos con menor  $T(h_j^5) - T(h_j^1)$
- Insignia “Shortest” para los grupos que haya llegado al objetivo con menor número de movimientos.

Hito	Contador	Porcentaje	Por grupo y año			
			Mínimo	Media	Máximo	Desv. Estándar
$h_*^1$	17889	37,06 %	112	483,486	1421	290,192
$h_*^2$	12381	25,65 %	75	334,622	1117	221,551
$h_*^3$	7541	15,62 %	31	203,811	662	125,651
$h_*^4$	5892	12,21 %	29	159,243	389	99,487
$h_*^5$	4567	9,46 %	28	123,432	352	76,362
Total	48270	100,00 %				

Cuadro 2: Resumen de los hitos registrados, para todos los problemas

### 3. Resultados

La puesta en marcha de esta herramienta se debe a una serie de objetivos, el más importante de todos es mantener informados a los alumnos, de forma inmediata, de su progreso durante la realización de las prácticas, de forma que tengan una idea aproximada de cómo van y puedan regular el esfuerzo de una manera más controlada. Otro objetivo importante es la motivación del alumno al comprobar que su esfuerzo se va plasmando, poco a poco, en un mayor progreso en las prácticas.

Y, muy relacionado con estos dos objetivos anteriores, está el conocer no sólo cómo va cada alumno o grupo, sino también cómo van los demás, algo que debería reforzar la capacidad de autorregulación de los alumnos. Dado que este año es la primera vez que se implanta esta herramienta, se ha decidido validar su impacto de dos formas. En primer lugar a nivel cualitativo, se ha consultado a los alumnos mediante una encuesta, sobre aspectos concretos de la herramienta. Y en segundo lugar se ha analizado el registro  $\mathcal{R}$  para intentar encontrar cambios en los patrones de comportamiento en los grupos de alumnos de este año con respecto a los tres años anteriores, en los que se disponía de la infraestructura de laboratorio virtual y registro de la actividad, pero no de la información a los alumnos en tiempo real.

#### 3.1. Análisis cualitativo

Al final del periodo de prácticas se ha pedido a los alumnos que valoren la experiencia mediante una encuesta anónima, compuesta de una serie de preguntas cerradas a modo de escala Likert, y preguntas abiertas en las que los alumnos expresan su opinión libremente. Estos han sido los resultados de 23 personas que han respondido a la encuesta respecto a 50 alumnos de clase.

Los resultados de esta encuesta se muestran resumidos en el Cuadro 3. Se puede ver que un 91 % opina que la herramienta es útil o muy útil y un 59 % opinan que sin ella habrían conseguido menos o muchos me-

nos objetivos. La valoración de la motivación (82 %) y el ver reflejado su esfuerzo (87 %) es también muy buena. Llama la atención las respuestas relativas a la privacidad, si bien sólo un 52 % prefiere que los demás vean sus resultados, resulta que un 68 % desea ver los resultados de los demás. Interesante efecto “cotilleo”. Importante, pero algo más bajo de lo esperado es que el 52 % declara haber alterado su forma de trabajar a raíz de los resultados publicados. Probablemente, como se va a demostrar en el análisis cuantitativo, ese cambio se haya producido de forma no consciente para el alumno. Y otro resultado muy importante es el 91 % que querría ver esta herramienta implantada en otras asignaturas dado que el 9 % restante es indiferente y nadie se ha expresado en contra.

Además de esto se les ofreció la siguiente pregunta abierta: “¿Hay algún aspecto que no esté recogido en la herramienta y que te hubiese gustado que lo estuviese?” un 68 % indicó que estaban satisfechos con la herramienta tal cual está, un 4 % pide que haya menos competitividad en la asignación de insignias, y un 19 % demanda mayor privacidad en la publicación de los resultados, un 9 % reclama que la herramienta publique algo más de información técnica respecto a las prácticas.

En definitiva, la percepción cualitativa de los alumnos respecto a la herramienta se puede ver que es muy buena, la consideran muy útil y están satisfechos con ella, nadie le quitaría funcionalidad y se sugieren adiciones funcionales que parecen ser útiles también. Pero que los alumnos piensen que es una buena herramienta no hace que sea una buena herramienta. La siguiente sección demuestra que esta herramienta es buena y produce realmente los resultados que intuyen los alumnos cuando comparamos los indicadores de rendimiento de este curso con los de los tres cursos anteriores.

#### 3.2. Análisis cuantitativo

En primer lugar, se analiza todo el registro  $\mathcal{R}$  de cada año y se contabilizan todos los hitos  $h_j^k$  que se consiguen cada año, como una primera aproximación para analizar el comportamiento de cada grupo. Dado que

	-2	-1	0	+1	+2
¿Ha sido útil la herramienta?	4.5 %	0 %	4.5 %	27.3 %	63.6 %
Sin esta herramienta ¿Habrias conseguido los mismos objetivos?	0 %	0 %	49 %	54.5 %	4.5 %
		-1	0	+1	
¿Te ha motivado a trabajar?	0 %	18 %	82 %		
¿Te ha parecido divertido?	4 %	9 %	89 %		
¿Quieres que sólo tú veas tus resultados?	52 %	48 %	0 %		
¿Ves valorado tu esfuerzo?	9 %	4 %	87 %		
¿Prefieres ver los resultados cuanto antes?	0 %	46 %	54 %		
¿Es importante ver los resultados de los demás?	5 %	27 %	68 %		
¿Ha modificado tu forma de trabajar?	18 %	30 %	52 %		
¿Te gustaría tener esta herramienta en otras asignaturas?	0 %	9 %	91 %		

Cuadro 3: Respuestas a las preguntas con 3 o 5 posibles respuestas Likert mostrando el porcentaje de alumnos que ha seleccionado cada respuesta.

hay 45 hitos  $h_j^k$  más un hito  $h^0$  inicial, cada año es una secuencia, con repetición, de 46 eventos diferentes. La Figura 3 muestra las frecuencias de cada hito  $h_j^k$  en todo el registro  $\mathcal{R}$  promediadas por años.

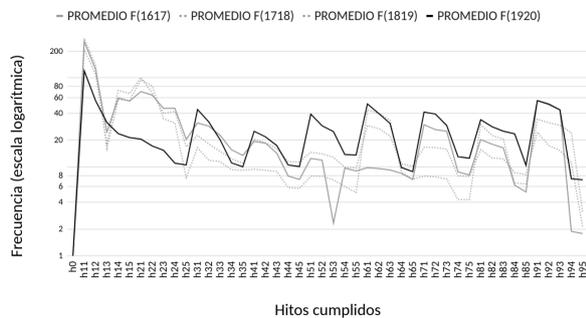


Figura 3: Distribuciones de frecuencias de aparición de cada hito, promediadas por año, con escala logarítmica en el eje Y para resaltar visualmente las diferencias.

Aunque son cuatro años académicos diferentes, el grado de dificultad de las prácticas es equivalente y, por lo general, las primeras prácticas son sencillas y requieren relativamente poco esfuerzo (valle en los hitos  $h_*^2$ ) aunque les cuesta un poco empezar (pico en los hitos  $h^0$  a  $h^2$ ). No es necesario recurrir a un test de significancia estadística para concluir que el patrón de comportamiento es muy compatible, con una ligera dominancia del grupo actual en las frecuencias de la mayoría de problemas y algunas diferencias entre algunos problemas. Esta similitud en las frecuencias de los hitos alcanzados era algo de esperar pues, aunque cada

año el conjunto  $\mathcal{P}$  de problemas es distinto, la estructura, secuenciación y grado de dificultad de las prácticas es la misma durante los cuatro años. Veamos a continuación si esta similitud en cuanto al número de hitos conseguidos, levemente dominados por los grupos del curso 19-20, se mantiene o no al analizar cuándo los consiguen.

La Figura 4 representa la mediana de sesiones abiertas cada año (total de hitos  $h_*^1$  a lo largo del eje temporal normalizado).

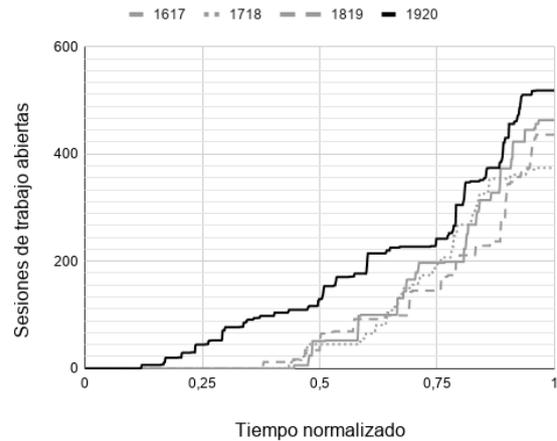


Figura 4: Número de sesiones acumuladas cada año a lo largo del periodo de prácticas normalizado.

Se puede observar que, desde esta perspectiva temporal, en los años anteriores todos siguen un patrón muy parecido y diferenciado del actual. Este año 19-20 los alumnos han comenzado a trabajar mucho antes, casi desde el comienzo del periodo de prácticas, manteniendo un ritmo de trabajo constante y alcanzando un promedio de sesiones más alto que en años anteriores. En resumen, ambas figuras ponen de manifiesto que, aunque el patrón de comportamiento pudiese ser estadísticamente el mismo, los grupos del curso 19-20 han realizado más sesiones de trabajo, por lo que podríamos decir que le han dedicado más tiempo, y han comenzado antes a trabajar. Estos datos son una muestra del esfuerzo dedicado, no de resultados y problemas resueltos, pero que podría corresponder con la percepción de los alumnos de tener una alta motivación detectada en el análisis cualitativo.

Si se pasa a analizar el rendimiento, es decir, hitos conseguidos durante las prácticas, la Figura 5 nos da una visión muy interesante del rendimiento de bajo nivel, es decir  $h_j^1$ , que indica que los alumnos han sido capaces, al menos, de conectarse al servidor y, al menos, abrir el problema  $p_j$  para empezar a trabajarlo y, eventualmente, llegar a resolverlo. Se puede ver, de nuevo, que los grupos de este año han empezado a acumular hitos bastante antes que en años anteriores, manteniendo un ritmo de consecución de hitos que os-

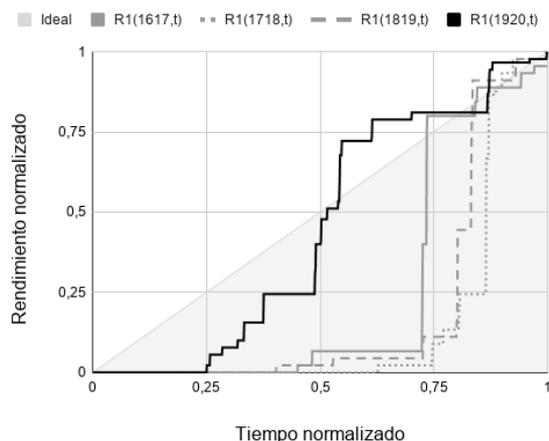


Figura 5: Mediana de los valores de rendimiento  $R^1(i, t^n)$  de cada año

cila alrededor del ideal y que termina consiguiendo el 100 % de los hitos  $h_j^1$ , que en este escenario son 45 hitos en total. Los años anteriores empiezan más tarde a conseguir hitos y, claro, se deben enfrentar a un ritmo de trabajo más intenso, con una rampa pronunciada, para poder terminar el periodo de prácticas, algunos sin alcanzar el 100 % de los hitos.

A continuación, la Figura 6 analiza el rendimiento de alto nivel, es decir,  $h_j^5$ , que indica que los alumnos han sido capaces de resolver completamente los problemas. Se puede ver, de nuevo, el mismo patrón anterior. Los grupos de este año empiezan a resolver los primeros problemas mucho antes, apenas 1/3 del periodo, mientras que los de años anteriores no empiezan a resolver problemas hasta casi 3/4 del periodo de prácticas. Igualmente, se puede ver que los grupos de este año completan el total de hitos (9 en este escenario) antes incluso del final del periodo de prácticas, mientras que el resto de años anteriores consigue el 100 % justo al final, al borde de concluir las prácticas.

Parece claro que el trabajo de los grupos de este año 19-20 empieza antes a dar sus frutos y sigue un ritmo más regular a lo largo de las prácticas, pero sería interesante saber si este cambio ha sido por igual en todos los problemas. Para ello, la Figura 7 muestra, de forma transversal al conjunto de problemas, los tiempos en los que cada grupo resolvió, por primera vez cada problema,  $\min_{t^n} H_j^5(i, t^n) = 1$ , expresado este tiempo de forma normalizada. De nuevo se aprecia el mismo patrón, independiente del tipo de problema, en el que los grupos de este año consiguen resolver antes todos y cada uno de los problemas de prácticas.

Ambas figuras muestran la importancia de la autorregulación de los grupos para mantener un ritmo constante y no dejar las cosas para el final, algo que queda cuantitativamente muy probado en estas gráficas al compararlo con años anteriores. Se puede ver que esta

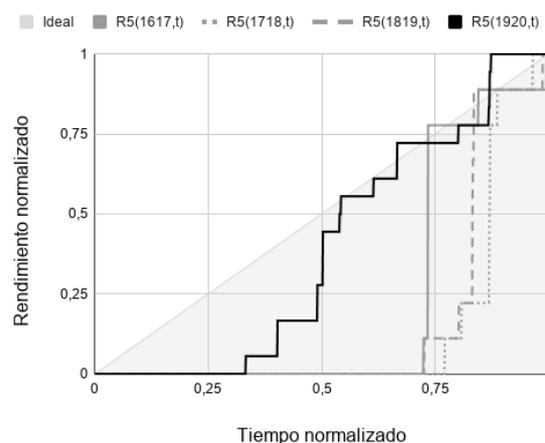


Figura 6: Mediana de los valores de rendimiento  $R^5(i, t^n)$  de cada año

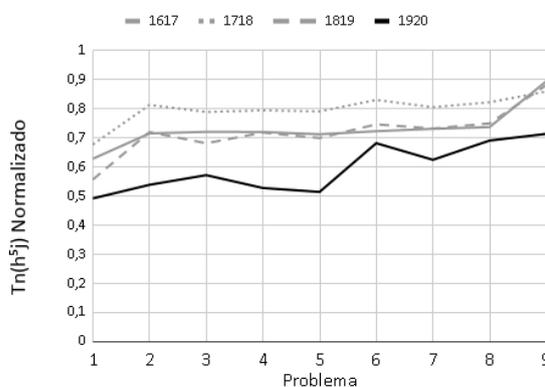


Figura 7:  $\min_{t^n} H_j^5(i, t^n) = 1$  a lo largo de cada problema

herramienta les ha cambiado la forma de trabajar a los alumnos, y lo mejor de todo, que este cambio está tan interiorizado que los alumnos no parecen percibirlo en el análisis cualitativo comentado anteriormente.

A continuación, para profundizar un poco más en estos resultados, la Figura 8 lleva el análisis a una situación extrema y analiza, en cada año, el mejor de los rendimientos de todos los grupos de ese año. Estos casos del mejor rendimiento suelen ser comportamientos que difieren bastante de la media de los grupos y suelen coincidir con grupos muy bien preparados y muy motivados con la asignatura. Pues bien, en este caso se obtienen unos resultados coherentes con el análisis anterior: el mejor de los grupos de este año tiene un rendimiento mejor que el mejor grupo de los años anteriores. Aunque no es el que empieza a tener éxitos antes, sí es el grupo que antes consigue el 100 % de los hitos de alto rendimiento  $h_j^5$ . Aproximadamente a un 1/3 de la práctica ya la han terminado por completo. Mientras que el resto de los años no completan el 100 % hasta pasado 3/4 del periodo de prácticas.

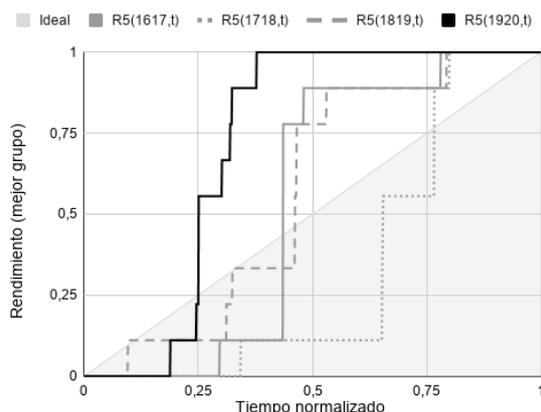


Figura 8: Rendimiento de alto nivel comparado del mejor grupo de cada año

## 4. Conclusiones

Este trabajo presenta un modelo de medida, en tiempo real, del progreso de los alumnos en el laboratorio de prácticas, de forma escalonada, a lo largo de un conjunto de problemas que deben resolver y su retroalimentación inmediata a los alumnos a través de una web. Además, presenta un estudio cualitativo y cuantitativo del impacto de esta herramienta, comparada con tres cursos anteriores, los cuales disponían de la herramienta de medida, pero sus resultados eran privados para el profesor y no se calculaban en tiempo real.

Hay que reconocer que todos los grupos de todos los años, con algunas excepciones, consiguen llegar al 100 % de los hitos que propone el profesor, es decir, a la adquisición del 100 % de las capacidades, distribuidas sobre un conjunto de problemas de prácticas de dificultad equivalente. Sin embargo, los resultados comentados en la sección de análisis no dejan lugar a dudas, sea cual sea la perspectiva que se adopte para analizar los datos registrados: transversal al intervalo de tiempo normalizado de las prácticas (Figura 4), transversal a lo largo del conjunto de hitos disponibles (Figura 3) o a lo largo del conjunto de problemas disponibles (Figura 7), o incluso en los casos extremos (Figura 8) se puede concluir que, este año los alumnos han estado influidos, claramente, por una mayor motivación, comenzando antes a trabajar y, por tanto, dedicando más tiempo que los anteriores. También se puede concluir que han regulado el esfuerzo de forma más gradual durante las prácticas (evitando el pánico de los últimos días antes de la entrega) y han obtenido resultados, tanto de bajo rendimiento como de alto rendimiento, bastante antes.

El análisis realizado demuestra que no sólo es importante medir el progreso de los alumnos, sino informarles, en tiempo real, sobre su progreso porque tiene un impacto claramente detectable en el comportamien-

to de los alumnos, tanto en la impresión que ellos tienen, detectada cualitativamente en las encuestas, como en el esfuerzo y en el rendimiento detectados cuantitativamente en el registro de actividad. Y algo verdaderamente importante es que los alumnos no parecen haber percibido un cambio en su comportamiento durante las prácticas porque se diría que lo hacen bajo un potente efecto motivador.

Los resultados mostrados aquí se refieren a la parte evaluable de las prácticas, pero los alumnos también han utilizado esta herramienta de análisis del aprendizaje y realimentación en la web (incluidas las insignias) en otras actividades prácticas de la misma asignatura, como la primera práctica de puesta en contacto con el laboratorio virtual, o un hackathon para resolver un pequeño juego, y la acogida por los alumnos ha sido siempre muy positiva.

## Referencias

- [1] Mina Shirvani Boroujeni y Pierre Dillenbourg. Discovery and temporal analysis of latent study patterns in mooc interaction sequences. En *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, páginas 206–215, 2018.
- [2] L. Castillo. A virtual laboratory for multiagent systems: Joining efficacy, learning analytics and student satisfaction. In IEEE, editor, *International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, páginas 1–6, 2016.
- [3] Stanley L Deno. Developments in curriculum-based measurement. *The journal of special education*, 37(3):184–192, 2003.
- [4] Simon Knight, Alyssa Wise, y Xavier Ochoa. Fostering an impactful field of learning analytics. *Journal of Learning Analytics*, 6(3):1–4, 2019.
- [5] Joan Navarro, Daniel Amo y Xavi Canalet. Analizando el proceso de aprendizaje de nuestros alumnos: un caso práctico. En *JENUI 2019*, páginas 357–360.
- [6] Ido Roll y Philip H Winne. Understanding, evaluating, and supporting self-regulated learning using learning analytics. *Journal of Learning Analytics*, 2(1):7–12, 2015.
- [7] Vicente-Arturo Romero-Zaldivar, Abelardo Pardo, Daniel Burgos, and Carlos Delgado Kloos. Monitoring student progress using virtual appliances: A case study. *Computers & Education*, 58(4):1058–1067, 2012.
- [8] Burrhus Frederic Skinner. Teaching machines. *Science*, 128(3330):969–977, 1958.
- [9] Eugene Randolph Smith y Ralph Winfred Tyler. Appraising and recording student progress. 1942.