

**FONDO SECTORIAL DE EDUCACIÓN**  
**Inclusión Digital: Educación con Nuevos Horizontes**

**INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN**

**Factores Asociados al Uso de la PAM en Primaria: el Rol de los Docentes  
y las Intervenciones de Política**

Diego Aboal, Ana Clara Bauzán, Marcela Gómez, Inés Méndez, Marcelo  
Perera y Yanedy Pérez

Tabla de contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
<b>ESTRATEGIA EMPÍRICA</b> .....	<b>8</b>
<b>ANÁLISIS DE DATOS</b> .....	<b>9</b>
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>12</b>
I. FACTORES DETERMINANTES DEL USO Y LA INTENSIDAD DE USO DE PAM PARA EL AÑO 2016 .....	12
II. EFECTO DOCENTE .....	14
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>18</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>19</b>
<b>AUTORES</b> .....	<b>21</b>

## Resumen

Desde 2013 Plan Ceibal ha puesto a disposición de docentes y estudiantes de enseñanza primaria y media pública, la Plataforma Adaptativa de Matemática (PAM), herramienta de apoyo para la enseñanza de la disciplina. Dicha plataforma tiene la ventaja de ser adaptativa, lo que permite que cada estudiante trabaje a su ritmo y habilita al docente a contemplar la diversidad dentro del salón de clase.

La presente investigación tuvo como objetivo identificar los factores que se asocian al uso de PAM por parte de estudiantes y docentes de educación primaria y pública en Uruguay, en particular en lo que refiere al rol del docente y las intervenciones de política de Plan Ceibal. Para esto se trabajó en un abordaje cuantitativo con las bases de datos que arroja la PAM junto con información proveniente del sistema educativo sobre estudiantes y docentes.

Encontramos que la utilización de esta herramienta de enseñanza está fuertemente asociada al factor docente y que las acciones de Plan Ceibal como facilitador del acceso a la plataforma han sido efectivas.

## Abstract

Since 2013 Plan Ceibal has made available to teachers and students in public school, an Adaptive Math learning platform by the name of "PAM". This platform provides tools to prepare classes, introduce new topics, set goals, prepare tests, send group or individual homework assignments, but most notably to personalize the learning path of each and every student in the classroom. The platform response storage system allows saving the learning path of each student, so that the teacher can monitor their evolution and suggest appropriate activities. Students and teachers can access the platform anytime, anywhere.

The current research aims to identify determining factors associated to the use of PAM, between students and teachers in public primary school, taking into account the role played by the teachers and Plan Ceibal policy interventions. To this end, a quantitative approach was chosen, using data provided by PAM along with information from the education system about teachers and students.

We found that the use of this teaching tool is strongly associated with the teacher factor and that the actions undertaken by Plan Ceibal, as a facilitator of access to the platform, have been effective.

**Palabras clave:** TICs, Matemática, Plan Ceibal

## Introducción

En 2007 la brecha de acceso a computador<sup>1</sup> en el Uruguay ascendía a 12.8, disminuyendo desde entonces hasta alcanzar en 2015 niveles cercanos a 1. Se podría asegurar que el Plan Ceibal logró uno de sus cometidos principales: reducir la brecha digital entre los hogares de menores y mayores ingresos. En el escenario actual, donde la brecha digital se ubica en 1.2 el objetivo de Plan Ceibal se extiende y pasa a configurarse como una política pública generadora de contenidos digitales al servicio del aprendizaje de los niños y adolescentes. En efecto, desde 2013 se pone a disposición de estudiantes y docentes la Plataforma Adaptativa de Matemática (PAM), la cual constituye una herramienta utilizada para la enseñanza y el aprendizaje de matemática de alumnos de primaria y ciclo básico de Educación Media.

La Plataforma de Matemática fue creada por Bettermarks, empresa alemana dedicada al desarrollo de softwares educativos. La misma cuenta con 100.000 ejercicios agrupados por temas, que los estudiantes pueden realizar independientemente del grado en el cual se encuentran. Al ser una herramienta adaptativa, permite a cada alumno progresar a su ritmo y contar con atención individualizada. La Plataforma informa al alumno sobre el resultado en cada respuesta, brinda ayuda y materiales teóricos relacionados, y muestra otras formas de resolución. Además, detecta las zonas que el alumno tiene para mejorar y le propone actividades en ese sentido. Al docente por su parte le permite visualizar el camino recorrido por sus alumnos y en base a esto definir sus clases, establecer metas de aprendizaje y realizar un seguimiento del desempeño de sus estudiantes. Tanto los estudiantes como sus docentes pueden acceder a PAM en cualquier momento y lugar.

Estudios previos sobre la plataforma creada por Bettermarks (Scharnagl, S. et. al, 2010, 2014) han concluido que la misma ha tenido efectos positivos en el desempeño de matemática por parte de los alumnos que utilizaron la herramienta. En Uruguay, la primera Evaluación de Impacto de Plataforma Adaptativa de Matemática llevada adelante por CINVE y Plan Ceibal, permitió conocer que el uso de la PAM tiene un efecto positivo en la ganancia de aprendizajes. Además se encontró que cuanto mayor es el uso en la clase, mayor es la ventaja que obtienen los alumnos (Perera & Aboal, 2017). Siguiendo con esta línea, la presente investigación busca contestar las siguientes interrogantes: ¿qué factores se asocian con el uso de la herramienta por parte de los estudiantes de Primaria? En particular, ¿cuál es el rol de la figura docente y las intervenciones de política de Plan Ceibal?

La hipótesis central de la investigación es que tanto el docente como las acciones de promoción y facilitación de Plan Ceibal son determinantes en el uso de la Plataforma Adaptativa de Matemática por parte de los estudiantes. Para validar dicha hipótesis, el presente proyecto de investigación tiene como objetivo central: identificar los factores que se asocian al uso de PAM por parte de estudiantes y docentes de educación primaria pública en Uruguay, en particular en lo que refiere al rol del docente y las intervenciones de política de Plan Ceibal.

---

<sup>1</sup>Calculada como el cociente entre el acceso del décimo decil (en % de personas) respecto al acceso del primer decil (en % de personas)

## Antecedentes

En las últimas décadas se han producido cambios tecnológicos que han impactado en la forma en que las personas se comunican, relacionan y aprenden. En este sentido, la tecnología ha generado importantes cambios en la educación, transformando los ambientes educativos tradicionales. Pero a pesar de que se entiende que la integración de la tecnología en el sistema educativo es importante y necesaria para la inclusión de los estudiantes en la sociedad del siglo XXI, todavía no están claros sus efectos sobre los aprendizajes. Los resultados al respecto no son concluyentes y cuando se encuentran efectos del uso de tecnología educativa éstos son generalmente pequeños (Angrist y Lavy, 2002; Bielefeldt, 2005; Kulik, 2003; Waxman, Connell, y Gray, 2002).

En la actualidad existe una gran variedad de recursos tecnológicos al servicio de la educación. Se puede encontrar desde herramientas estáticas y sencillas, hasta interactivas y adaptativas a las necesidades de cada estudiante. En relación a estas últimas, la enseñanza asistida por computadora (*ComputerAssistedInstruction*) ha ido ganado terreno en el ámbito educativo en los últimos años. Las tecnologías desarrolladas en el marco de este método tienen la ventaja de que adaptan su contenido a las necesidades de cada estudiante, permitiendo a cada uno la libertad de fijar su propio ritmo de aprendizaje y distribución del tiempo (Pilli y Aksu, 2013). En particular, en los últimos años se han desarrollado diversos recursos adaptativos para la enseñanza y aprendizaje de la matemática asistida mediante computadora, como es el caso de la *Plataforma Adaptativa de Matemática (PAM)*, *LOGO*, *Derive*, *Cabri*, *Mathematica*, *Coypu*, *FrizbiMathematics 4*, entre otros.

Los defensores de este tipo de tecnología, entienden que una de las principales ventajas de los recursos adaptativos es que permiten atender la diversidad dentro del aula, ya que habilita al docente para dar instrucciones diferenciadas. A nivel internacional existen diversos estudios orientados a determinar el impacto de este tipo de programas en los aprendizajes de los estudiantes. Ejemplo de esto es el estudio de Banerjee et al. (2005), el cual analiza el impacto de un programa de instrucción de matemática asistido por computadora en el aprendizaje de niños de primaria de una localidad de la India en los años 2002-2003, encontrando un impacto positivo y significativo del uso de la herramienta sobre los puntajes obtenidos en una prueba de matemática.

Por otro lado, Campuzano et al. (2009) estudian si el acceso por parte de los docentes a softwares especialmente seleccionados (diseñados para el apoyo de la enseñanza de lectura y matemática) genera mayores puntajes en las pruebas de lectura y matemática. Los autores encuentran que los puntajes de las pruebas no son significativamente superiores en las clases tratadas respecto a las de control.

A diferencia del estudio anterior, Pilli y Aksu (2013), se centran en el estudio de un único producto tecnológico. Para ello realizan un experimento que analiza los efectos de un software educativo (*FrizbiMathematics 4*) en los aprendizajes de matemática de los estudiantes de cuarto grado, en la retención educativa y en la actitud de los mismos hacia la matemática y el aprendizaje asistido por computadora. Los autores encuentran diferencias significativas a favor del grupo de estudiantes que utilizan la herramienta, en las tres variables de interés.

En esta misma línea, De Witte, Haelermans y Rogge (2015) analizan la efectividad del programa holandés de enseñanza de matemática asistida por computadora llamado *Gotit?!*, en una muestra de casi 10.000 estudiantes de secundaria en el año 2012. En primer lugar, los autores encuentran que los centros educativos con menores rendimientos son los que utilizan la herramienta con mayor frecuencia, lo cual se puede deber a que quienes se encuentran más rezagados hacen un mayor uso de la herramienta para alcanzar a quienes tienen mejores rendimientos. En segundo lugar, encuentran que realizar más ejercicios lleva a mayores resultados en la prueba nacional de matemática. La investigación concluye entonces que las herramientas de enseñanza asistida por computadora y adaptativas pueden ser efectivas para aumentar los resultados en materia de aprendizaje.

Koedinger, McLaughlin y Heffernan (2010) investigan si los estudiantes que utilizan el sistema *ASSISTments* aprenden más que un grupo de control que no lo utiliza. *ASSISTments* es un software que cumple una doble función de evaluar y tutelar al mismo tiempo en un entorno virtual. Los autores utilizan un diseño cuasi experimental y encuentran que los estudiantes en el grupo de tratamiento (tanto estudiantes regulares, como aquellos con necesidades especiales) obtienen mejores resultados en las pruebas de matemática que el grupo de control (controlando por el nivel de conocimiento inicial del alumno mediante un pre-test).

Por su parte, Cheung y Slavin (2013) realizan un meta análisis sobre la efectividad de aplicaciones tecnológicas educativas para la mejora del aprendizaje de matemática en primaria y secundaria. Los autores encuentran que muchas de las investigaciones sufren de graves problemas metodológicos, siendo los más comunes: falta de un grupo control; pruebas limitadas de la equivalencia inicial, entre el grupo de tratamiento y el de control (ausencia de pre-test); medidas de resultados cuestionables y corta duración de los estudios. Además agregan que los estudios con metodologías pobres tienden a reportar tamaños del efecto más grandes que aquellos con métodos más rigurosos. Concluyen que la incorporación de programas suplementarios en el currículo regular de la clase puede ser beneficioso, a la vez que sostienen que la tecnología educativa está marcando una diferencia modesta en el aprendizaje de las matemáticas, pero que no es un gran avance.

Evanschitzky et al. (2014) analizan la efectividad de una plataforma adaptativa de matemática para la enseñanza de fracciones en estudiantes de sexto año escolar en Alemania (plataforma desarrollada por la empresa alemana *Bettermarks*, creadora de la plataforma adaptativa de matemática utilizada en el sistema educativo uruguayo). Mediante un estudio experimental los autores concluyen que los estudiantes se benefician del uso de la plataforma para el aprendizaje de fracciones.

A nivel nacional, el estudio recientemente realizado por Perera y Aboal (2017) dio a conocer los efectos positivos que tiene el uso de la Plataforma Adaptativa de Matemática en los aprendizajes de matemática de los estudiantes de primaria de Uruguay. A partir de información longitudinal sobre una muestra de estudiantes de educación primaria, los autores encuentran un efecto positivo del uso de la herramienta en la ganancia de aprendizaje de matemática. Además, la ganancia en matemática se amplía entre los estudiantes de contextos socioeconómicos más desfavorables.

Tan relevante como estudiar el impacto de estas herramientas, es estudiar los factores que determinan su uso. A pesar de que muchas investigaciones encuentran efectos positivos del uso de recursos adaptativos en los aprendizajes, su uso no se encuentra extendido. Resulta importante entonces estudiar los factores que inciden en la decisión de utilizar (o no) estas herramientas. En este sentido, investigaciones como las de Vanderlinde et al. (2014) y Gil-Flores et al. (2017), encuentran que ciertas características de los docentes, como pueden ser su capacitación o competencias en TIC, son los principales factores determinantes del uso.

Vanderlinde et al. (2014) investigan cómo diversos factores docentes y escolares, tanto generales como relativos a las TIC, están asociados al uso de estas tecnologías en Flemish (Bélgica) en educación primaria. Los autores concluyen que el 14% de la varianza en el uso de TIC se debe a diferencias entre las escuelas, encontrando una asociación positiva entre las variables: “desarrollo profesional TIC”, “competencias TIC”, “creencias educativas”, “visión y política TIC de la escuela” y el uso de las TIC para la enseñanza en el aula.

Gil-Flores et al. (2017) estudian el uso de TIC en aulas de educación secundaria de España, encontrando en primer lugar que la infraestructura representa una condición necesaria pero no suficiente para la integración de las tecnologías en el aula. Más aún, los autores confirman que más relevante que la infraestructura, son las características de los docentes, siendo las más significativas la necesidad de desarrollo profesional en TIC y la colaboración entre pares.

## Estrategia empírica

En la primera etapa del trabajo se sistematizó un significativo volumen de datos históricos almacenados en la Plataforma, relativos al uso de los alumnos y docentes. Dado que los registros abarcan una gama muy amplia de incidencias, esta etapa del análisis requirió un importante esfuerzo de organización y depuración de la información disponible<sup>2</sup>.

En segundo lugar, se buscó identificar los factores que explican la propensión de uso de la PAM (margen extensivo), así como su intensidad de uso (margen intensivo), entre los niños de tercero a sexto de educación primaria en Uruguay. Para esto se especifica y estima un modelo econométrico de “doble valla” (Cragg, 1971) con una ecuación de primer nivel, explicativa de la probabilidad de uso y en un segundo nivel, una ecuación explicativa de la cantidad de ejercicios (intensidad) condicional al uso de la Plataforma. En ambos casos se contempla la naturaleza particular de las variables dependientes, se especifica en el primer nivel un modelo probit para una variable binaria indicativa del uso (i.e. realizó al menos un ejercicio en el año) y en el segundo nivel un modelo para variable truncada (el logaritmo del número de ejercicios realizados).

Se impone comenzar por el efecto que tiene el uso de la PAM por parte del docente, i.e. el efecto de la dummy que indica algún ingreso del docente a la Plataforma durante el período de análisis, vale mencionar que dicha variable es una medida imperfecta ya que no necesariamente indica la decisión efectiva del docente de introducir la PAM en la enseñanza de Matemática. En cualquier caso se entiende que dicha aproximación a la variable de uso docente tiende a atenuar el verdadero efecto y por lo tanto se está subestimando la importancia del docente en la determinación de la probabilidad (e intensidad de uso de la PAM).

Plan Ceibal también ha diseñado cursos para docentes focalizados en el uso de PAM. La posibilidad de identificar un efecto causal de estas acciones sobre la propensión al uso o la intensidad de uso de PAM es sin dudas un desafío por tratarse de “intervenciones” no aleatorias en escuelas y docentes, con el fin de aproximarnos en la identificación de este efecto se incluye una variable indicadora de la participación del docente en cursos o talleres sobre la PAM.

Finalmente, se trabajó en base a una segunda estrategia empírica basada en la literatura sobre el efecto docente, en la que se han desarrollado métodos para capturar la contribución específica de cada maestro al proceso de aprendizaje tomando en consideración las variables que están fuera de su control. Los procedimientos cuantitativos aplicados en estos casos requieren de datos longitudinales con al menos dos medidas de la variable de resultado (en nuestro caso uso de PAM) ya que están basados en medidas de “valor agregado” que permiten limitar el sesgo en la estimación efecto causal de la dimensión docente. La posibilidad de disponer de un panel de alumnos y de algunas variables de control, como el contexto socioeconómico del centro educativo, permite implementar esta estrategia (véase por ejemplo Rothstein, 2014; Chetty, Friedman, and Rockoff, 2014a, 2014b).

---

<sup>2</sup> A pesar de que inicialmente el proyecto buscaba trabajar con información de educación primaria y media, la falta de datos validados para este último subsistema implicó tener que restringir el análisis a educación primaria.



## Análisis de datos

Para la presente investigación se conforma una base de datos única a partir de dos fuentes de datos. Por un lado, la base que arroja la propia Plataforma Adaptativa de Matemática, y por otro, datos proporcionados por el sistema CRM (Customer Relationship Management). Ambas fuentes fueron provistas y validadas por Plan Ceibal en el marco de su apoyo al Fondo Sectorial de Educación Inclusión Digital creado por la ANII y la Fundación Centro Ceibal para el Estudio de las Tecnologías Digitales en la Educación<sup>33</sup>.

La base única contiene información de uso de PAM de los estudiantes de 3° a 6° de primaria para el año 2016, por ser el año con información disponible y validada por Plan Ceibal. Además recoge datos a nivel de estudiantes sobre: características personales (sexo, edad, grado, rezago); actividad realizada en la plataforma (cantidad de ejercicios, resultados obtenidos, series completadas y series completadas satisfactoriamente); presencia (o no) de un Maestro de Apoyo Ceibal (MAC) en el centro educativo, atributos del centro (tipo de conectividad, región geográfica, contexto sociocultural) e información sobre el docente (participación en capacitaciones e ingresos a la PAM).

La base comprende a unos 153 mil alumnos distribuidos en aproximadamente 890 escuelas. Se seleccionaron para el análisis aquellos alumnos de escuelas públicas urbanas, pertenecientes a grupos conformados por más de 10 alumnos. Adicionalmente para el análisis del efecto docente se restringió la base a aquellos alumnos a los cuales se les pudo identificar su docente de mayor permanencia.

La Tabla 1. Ilustra la distribución de los alumnos según variables de interés en los dos escenarios de análisis planteados. La distribución de los alumnos en la base completa y restringida es muy similar. A la interna de cada categoría, vale mencionar, que no existen grandes diferencias en la distribución de alumnos por contexto socioeconómico de la escuela, grado escolar y género. La presencia de un MAC en el centro educativo cubrió a un 21% del total de alumnos. Respecto a la conectividad del centro educativo un 97% de los alumnos pertenecen a centros con fibra óptica.

---

<sup>33</sup> El estudio veló por la protección de los datos personales y las bases analizadas fueron previamente anonimizadas.

**Tabla 1. Distribución de los alumnos según variables de interés**

Variable	Categorías	2016			
		Base completa		Base restringida	
		Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Sexo	Niño	78.620	51	58.878	51
	Niña	74.941	49	56.319	49
Rezago escolar	No rezagado	125.661	82	94.083	82
	Rezagado	27.900	18	21.114	18
Grado	3°	38.142	25	28.109	24
	4°	38.106	25	28.198	25
	5°	37.629	25	28.047	24
	6°	39.702	25	30.843	27
Maestro de Apoyo Ceibal	No MAC	121.219	79	91.140	79
	MAC	32.342	21	24.057	21
Contexto sociocultural de la escuela	Bajo	30.947	20	24.019	21
	Nivel 2	29.042	19	21.729	19
	Nivel 3	26.455	17	19.157	17
	Nivel 4	29.327	19	21.772	19
	Nivel 5 menos crítico	36.168	24	27.386	24
Tipo de conectividad	No Fibra Óptica	5.217	3	4.148	3
	Fibra Óptica	148.344	97	111.049	97
Región	Centro-sur	7.323	5	5.519	5
	Este	17.132	11	12.820	11
	Litoral	13.687	9	9.963	9
	Metropolitana	81.920	53	63.530	55
	Norte	33.499	22	23.365	20
Uso PAM	No usuario	76.004	49	57.281	50
	Usuario	77.557	51	57.916	50
<b>Total</b>		<b>153.561</b>		<b>115.197</b>	

Fuente: elaboración propia en base a datos de PAM y Ceibal

**Nota: la base completa refiere a los casi 153 mil alumnos de escuelas públicas urbanas considerados para el análisis, mientras que la base restringida toma únicamente a los alumnos para los cuales fue posible identificar su docente y por lo tanto asignarle información de uso docente de PAM.**

La tabla 2 ilustra los estadísticos de las actividades realizadas para el año 2016. La distribución dentro de cada categoría muestra algunos patrones muy claros. En primer lugar, la distribución de usuarios por sexo es bastante similar, aunque la cantidad de actividades realizadas es superior entre niñas respecto a los niños. El uso de la PAM aumenta conforme se incrementa el grado escolar. En efecto, mientras la mediana de actividades en tercer grado es de 76 en sexto grado asciende a 117 actividades. En cuanto al uso docente, aquellos alumnos cuyos docentes utilizan la PAM casi duplican la mediana de actividades respecto a aquellos alumnos cuyos docentes no utilizaron la plataforma, este dato podría significar que los alumnos no utilizan la plataforma autónomamente, sino que posiblemente realizan únicamente las actividades

solicitadas por el docente encargado del curso. También aquellos alumnos cuyos docentes se capacitaron en el uso de plataformas, muestran un uso más intensivo respecto a los alumnos cuyo docente no se capacitó en el uso de la herramienta.

**Tabla 2. Estadísticos de actividades realizadas según variables de interés – Año 2016**

		Usuarios		Cantidad de ejercicios realizados por los usuarios							
		PAM	Porcentaj	Media	p5	p10	p25	p50	p75	p90	p95
Género	Femenino	28.990	50	306	6	11	33	102	293	701	1.183
	Masculino	28.926	50	279	6	10	32	96	273	654	1.097
Rezago escolar	No rezagado	50.126	87	302	6	11	34	104	296	702	1.173
	Rezagado	7.790	13	235	4	8	24	70	206	530	909
Grado escolar	3º	10.809	19	201	5	8	25	76	216	511	819
	4º	14.266	25	272	5	10	29	88	248	589	976
	5º	14.942	26	295	5	10	30	95	270	645	1.164
	6º	17.899	31	362	8	15	44	130	373	880	1.399
Contexto socioec.	Bajo	18.636	32	288	5	9	26	79	241	644	1.109
	Medio	10.713	19	283	6	11	34	105	297	662	1.106
	Alto	28.068	49	293	6	12	36	110	300	692	1.168
Región	Metropolitana	24.933	43	251	5	10	28	83	231	558	945
	No metropolitana	32.983	57	324	6	12	36	113	324	770	1.263
Conectividad	Con fibra óptica	53.486	97	295	5	10	29	90	237	582	1.146
	Sin fibra óptica	1.330	3	293	6	11	32	99	285	678	1.144
MAC	Con MAC	16.461	30	358	7	12	39	126	351	792	1.347
	Sin MAC	38.355	70	265	5	10	30	89	255	621	1.075
Uso de PAM docente	Utilizó PAM	49.152	85	312	6	12	36	109	301	709	1.193
	No utilizó PAM	7.950	15	186	4	7	19	56	177	473	852
Cursos docentes	Realizó cursos	14.933	26	345	6	12	38	127	353	808	1.354
	No realizó cursos	42.983	74	274	5	10	30	91	260	632	1.066
<b>Total</b>		<b>57.916</b>	<b>100</b>	<b>264</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>32</b>	<b>92</b>	<b>254</b>	<b>606</b>	<b>1.025</b>

Fuente: elaboración propia en base a datos de PAM y Ceibal

## Resultados

### I. Factores determinantes del uso y la intensidad de uso de PAM para el año 2016

La Tabla 3 presenta los resultados de la estimación del modelo probit para la probabilidad de uso de la PAM (primera columna) y del modelo para la cantidad de ejercicios realizados (segunda columna). Los coeficientes reportados corresponden a los efectos marginales, en el caso de la intensidad de uso se entiende como el efecto marginal sobre el logaritmo del número de ejercicios, condicional al uso de la Plataforma.

Los resultados indican que la probabilidad de que un alumno realice ejercicios en la Plataforma aumenta en un 40 % si el docente es usuario de la misma. A su vez, entre los alumnos usuarios de la PAM, la presencia de un docente usuario determina un aumento del 84 % en el número de ejercicios. Estos resultados ponen de manifiesto el papel clave del docente en el uso de este tipo de herramientas (por parte de los escolares) en la educación primaria en Uruguay.

Por otro lado, se observa que la propensión al uso de la PAM es, en promedio, 2 % menor entre los alumnos varones, los cuales realizan en promedio 5 % de ejercicios menos que las niñas<sup>4</sup>. La condición de extra edad o rezago escolar del educando, está vinculada negativamente con la probabilidad de uso (9 %) y con el número de ejercicios realizados (un usuario con rezago escolar realiza en promedio 25 % de ejercicios menos que un usuario sin rezago). El grado escolar, que también refleja el efecto de la edad, está positivamente asociado tanto al uso como a la intensidad de uso. Por ejemplo, un alumno de sexto grado tiene 15 % más de probabilidad de ser usuario PAM que un alumno de tercero y el valor esperado del número de ejercicios de un usuario de sexto es aproximadamente 1.8 veces el número de ejercicios que realiza un usuario de tercero.

El contexto socioeconómico de la escuela también resulta significativo, como factor explicativo de la probabilidad e intensidad de uso de la Plataforma. El efecto sobre la probabilidad de uso es relativamente bajo (5 % entre el contexto alto y el bajo), aumentando de forma importante sobre la intensidad (28 % mayor entre en el contexto alto respecto al bajo).

La región geográfica también es un factor relevante, la probabilidad de uso de la PAM de los alumnos de las escuelas situadas en el área metropolitana es 10 % menor. En relación a la intensidad de uso, un usuario promedio de esta región realiza 18 % menos de ejercicios que un usuario promedio del resto del país. El tipo de conectividad del centro educativo es un determinante más del acceso a la Plataforma, la conexión con fibra óptica aumenta un 10 % la probabilidad de uso. Sin embargo, esta variable no resulta significativa para explicar la intensidad de uso.

Finalmente, se estima el efecto directo de factores asociados con acciones o políticas orientadas a la facilitación del acceso a las herramientas por parte de Plan Ceibal. En primer lugar, se observa que la presencia del MAC en el centro educativo aumenta un

---

<sup>4</sup> En el modelo para la intensidad de uso, el exponencial del coeficiente de la *dummy* de un determinado grupo explica la relación entre el número de ejercicios esperado, para dicho grupo, como proporción del número de ejercicios del grupo de comparación (o grupo omitido).

14 % la probabilidad de uso de la PAM, al tiempo que los usuarios en centros con MAC realizan un 40 % más de ejercicios que los usuarios en centros sin MAC. Por otro lado, la participación del docente en cursos de capacitación aumenta un 6 % la probabilidad de que sus alumnos utilicen la Plataforma y un 18 % el número de ejercicios realizado por los usuarios. Un mecanismo natural, por el cual estos factores afectan el uso de la PAM, es mediante el efecto sobre el uso que haga el docente. Dado que estamos incluyendo en la ecuación un proxy del uso docente, es razonable interpretar estos resultados como el efecto directo de la presencia del MAC y la participación de los docentes en cursos de formación<sup>5</sup>.

**Tabla 3. Estimación de la probabilidad e intensidad de uso de la PAM para el año 2016<sup>6</sup>**

	<b>Prob. de uso:</b> Finalizó al menos un Ejerc,	<b>Intensidad de uso:</b> (log) Nro de Ejerc.
Uso docente (ingreso a la plataforma = 1)	0.406 [0.0062]***	0.612 [0.0608]***
MAC (centro con MAC = 1)	0.140 [0.0157]***	0.331 [0.0644]***
Grado (omitida: 3º grado): 4º grado	0.086 [0.0116]***	0.154 [0.0690]**
5º grado	0.110 [0.0119]***	0.279 [0.0697]***
6º grado	0.151 [0.0119]***	0.609 [0.0697]***
Zona Metropolitana (Zona metrop.=1)	-0.097 [0.0118]***	-0.2 [0.0585]***
Acceso (conexión a fibra óptica = 1)	0.095 [0.0321]***	0.157 [0.1680]
Rezago escolar (rezago=1)	-0.088 [0.0044]***	-0.29 [0.0233]***
Capacitación docente (realizó cursos =1)	0.062 [0.0122]***	0.166 [0.0586]***
Nivel socioeconómico (omitida: Bajo): Medio	0.036 [0.0192]*	0.142 [0.0938]
Alto	0.050 [0.0198]**	0.243 [0.0924]***
Género (Masculino=1)	-0.018 [0.0024]***	-0.05 [0.0139]***
Observations	114,063	57,417

Errores estándar clusterizados a nivel de escuela entre paréntesis.

Sig. \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Fuente: elaboración propia en base a datos de PAM y Ceibal

**Notas:** Los coeficientes reportados corresponden a los efectos marginales. En el caso de la intensidad de uso es el efecto marginal sobre el logaritmo del número de ejercicios, condicional al uso de la Plataforma. Todas las estimaciones controlan por un efecto fijo de tipo de escuela (escuela Común, de Tiempo Completo, etc.), resultando significativo sólo el efecto fijo de escuela de Tiempo Completo (con signo positivo en ambas ecuaciones). Fuente: Elaboración propia a partir de datos arrojados por la PAM.

<sup>5</sup> Por ejemplo, si se excluye la proxy de “uso docente” en la ecuación explicativa de la probabilidad de uso, el coeficiente de MAC aumenta a 0.22 (en lugar de 0.14) y el coeficiente de la *dummy* de capacitación docente se duplica (pasa de 0.06 a 0.12).

<sup>6</sup> El universo de estudio fueron alumnos de escuelas urbanas de grupos de diez o más estudiantes. El número de observaciones para las estimaciones se reduce a 114.063, luego de excluir los grupos a los que no fue posible vincular la información del docente ni el contexto socioeconómico del centro educativo.

## II. Efecto docente

A continuación procederemos a cuantificar la importancia del docente en el uso de la PAM. En la investigación educativa la importancia de un factor se juzga por el porcentaje de la varianza de un determinado desempeño del estudiante que se explica por ese factor. En nuestro caso procederemos a cuantificar la proporción de la varianza en el uso de la PAM que se explica por el factor docente.

Para este propósito, sin embargo, es necesario sortear el problema que significa identificar el efecto del docente a partir del comportamiento de los alumnos de su clase. Es natural pensar que el desempeño de los alumnos en una clase está afectado tanto por la efectividad del docente como por las características (observables y no observables) del grupo. Para ello aplicaremos el método utilizado en la literatura de Valor Agregado (VA) docente. Siguiendo a Kane y Staiger (2008) identificaremos una medida de la varianza atribuida al docente a partir de la observación de grupos del mismo docente en diferentes años. Para esto se trabajó con las bases de 2015 y 2016 donde fue posible identificar a 1633 maestros en ambos años.

La metodología parte de estimar el siguiente modelo explicativo del número de ejercicios realizados por el alumno:

$$E_{ijt} = \beta X_{ijt} + v_{ijt}, \quad v_{ijt} = \mu_j + \theta_{jt} + \varepsilon_{iji} \quad (1)$$

Siendo  $E_{ijt}$  el número de ejercicios (en logaritmos<sup>7</sup>) del alumno  $i$  que estuvo a cargo del maestro  $j$  en el año  $t$  y  $X$  un vector de variables del alumno (rezago escolar, edad, género, grado, región, contexto y la interacción de todas estas variables). Finalmente  $v_{ijt}$  es un término de error compuesto por el efecto docente ( $\mu_j$ ), el efecto de grupo ( $\theta_{jt}$ ) y un efecto idiosincrático ( $\varepsilon_{iji}$ ).

En primer lugar se estima la ecuación (1) y se obtiene el uso de PAM residualizado ( $v_{ijt}$ ). La varianza de los tres componentes se obtiene de la siguiente manera. La varianza del componente idiosincrático  $\sigma_\varepsilon^2$  se estima como la varianza intra-grupo de  $v_{ijt}$ , es decir  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = Var(v_{ijt} - \bar{v}_{jt})$ . El estimador de la varianza del efecto docente se obtiene como la covarianza del uso promedio de la PAM (residualizado) en los grupos del año 2015 y 2016 del mismo docente<sup>8</sup>, esto es  $\hat{\sigma}_\mu^2 = Cov(\bar{v}_{jt}, \bar{v}_{jt-1})$ . Finalmente la varianza del efecto grupo es estimada residualmente como  $\hat{\sigma}_\theta^2 = Var(v_{ijt}) - \hat{\sigma}_\mu^2 - \hat{\sigma}_\varepsilon^2$ .

La Tabla 4 presenta la estimación de los componentes de la varianza del uso de la PAM. El efecto docente se estima en  $0.62\sigma$  lo que explica el 38% de la variabilidad en el número de ejercicios realizados por los alumnos. Tomando como referencia la evidencia nacional e internacional del efecto docente en el rendimiento de los estudiantes en pruebas estandarizadas, el efecto docente en el uso de la PAM es particularmente elevado<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Se define  $E_{ijt} = \ln(1 + Ejercicios_{ijt})$  para no excluir a los casos que no utilizan la PAM.

<sup>8</sup> Esto se basa en supuesta independencia de los efectos de alumno entre las diferentes clases del docente y en la invariabilidad temporal del efecto docente. El cálculo de la covarianza se pondera por el número de alumnos en cada grupo.

<sup>9</sup> Una revisión de estimaciones del desvío estándar del efecto o efectividad docente en el desempeño en aprendizajes (en lectura y matemática) en EEUU puede verse en Hanushek y Rivkin (2010) y se encuentran entre  $0.08\sigma$  y  $0.26\sigma$ . Una estimación para Uruguay del efecto docente en aprendizajes de inglés es de  $0.15\sigma$  (Marconi et al. 2017).

**Tabla 4. Descomposición de la varianza en el uso de PAM: efecto grupo, docente y alumno**

	% Varianza	Desvío Estándar
Efecto Grupo	34%	<b>0.59</b>
Efecto Docente	38%	<b>0.62</b>
Efecto Alumno	28%	<b>0.53</b>

Fuente: estimaciones en base a información de PAM y Ceibal

*Los factores asociados al efecto o uso docente*

En base a esta descomposición de la varianza del uso de la PAM construimos una medida de efecto docente o uso docente como un estimador de  $\mu_j$  en (1). Esta medida es análoga al estimador empírico bayesiano del VA docente (véase Kane y Staiger, 2008; Chetty et al., 2014) y es igual promedio del uso de la PAM en la clase ( $\bar{v}_{jt}$ ) multiplicado por un factor de contracción (*shrinkage factor*):

$$\hat{\mu}_{jt} = \bar{v}_{jt} \left( \frac{\hat{\sigma}_{\mu}^2}{Var(\bar{v}_{jt})} \right)$$

El factor de contracción ( $\hat{\sigma}_{\mu}^2 / Var(\bar{v}_{jt})$ ) es una medida de fiabilidad del promedio del grupo como estimador del efecto o uso docente. Dicho factor es el cociente entre la varianza del efecto docente y la varianza del promedio grupal del uso de la PAM; es por lo tanto una medida de la señal-ruido<sup>10</sup>.

Una vez obtenido el estimador del efecto o uso docente  $\hat{\mu}_{jt}$  para ambos años analizamos la asociación entre esta medida y la información disponible sobre los maestros y las escuelas en base a un panel de 1633 docentes. La ecuación a estimar es la siguiente:

$$\hat{\mu}_{jt} = \gamma \hat{\mu}_{jt-1} + \alpha_1 Edad_{jt} + \alpha_2 Edad_{jt}^2 + \alpha_3 Area_{jt} + \alpha_4 MAC_{jt} + \alpha_5 Curso_{jt} + \alpha_6 MAC_{jt} * \hat{\mu}_{jt-1} + \alpha_7 Curso_{jt} * \hat{\mu}_{jt-1} + \omega_{jt} \quad (2)$$

Esto nos permite analizar la persistencia en el uso de la PAM entre estos dos años, la relación con la edad del docente y retomar el efecto de algunas acciones desplegadas por el Plan Ceibal para facilitar el uso de esta herramienta de aprendizaje, tales como la presencia del MAC en la escuela y los cursos de capacitación. Obsérvese que también se incluye en la ecuación a estas dos variables (*dummies*) interaccionadas con el uso docente. Finalmente también se incluye la *dummy* indicadora de la ubicación de la escuela (del maestro en 2016) en el área metropolitana.

En la Tabla 5 se presentan los resultados de deferentes especificaciones excluyendo algunas de las variables explicativas antes señaladas, siendo la columna 4 la especificación completa de la ecuación (2). El efecto docente de la PAM en 2016,

<sup>10</sup> Donde  $Var(\bar{v}_{jt}) = \hat{\sigma}_{\mu}^2 + \hat{\sigma}_{\theta}^2 + \hat{\sigma}_{\varepsilon}^2 / n_{jt}$ , siendo  $n_{jt}$  el número de alumnos en el grupo  $j$ . Cuanto mayor es la varianza de la media grupal en relación a la varianza del efecto docente mayor es la reversión o contracción a la media (0) del efecto docente. Obsérvese que se computa un efecto docente para cada año por separado cuando en realidad, bajo el supuesto de que es invariante en el tiempo, podríamos trabajar con el promedio del uso en las distintas clases del maestro ( $\bar{v}_j = \sum_t w_{jt} \bar{v}_{jt}$ ) para tener una medida más precisa (véase Kane y Staiger, 2008).

estimado a partir del promedio de ejercicios de los alumnos de su grupo, muestra una alta persistencia o correlación con el estimado para el año anterior. En segundo lugar se observa que la edad del maestro no resulta significativa; por lo que no se encuentra evidencia de que, al menos en el promedio de los datos analizados, el uso de este tipo de herramientas sea una cuestión de edad del maestro. En tercer lugar, tal como lo constatamos previamente, observamos que el uso en las escuelas del área metropolitana es significativamente menor. Explorar las causas de esta heterogeneidad entre regiones es un tema que merece mayor análisis y posiblemente requiera ampliar los datos disponibles con información de percepción u opinión de los docentes sobre el uso de estas herramientas de enseñanza.

**Tabla 5. Estimación de los factores asociados al efecto docente en el uso de la PAM en 2016**

	(1)	(2)	(3)	(4)
Efecto docente 2015	0.605 *** (0.020)		0.570 *** (0.021)	0.611 *** (0.027)
Edad del Maestro	0.02		-0.009 (0.023)	-0.007 (0.023)
Edad del Maestro <sup>2</sup>		-0.0003 (0.0003)	0.0001 (0.0003)	0.0001 (0.0003)
Area Metropolitana (=1)		-0.382 *** (0.062)	-0.117 ** (0.053)	-0.112 ** (0.052)
Escuela con MAC (=1)		0.531 *** (0.070)	0.222 *** (0.060)	0.253 *** (0.061)
CURSO PAM (=1)		0.267 *** (0.073)	0.143 ** (0.061)	0.143 *** (0.061)
MAC*Efecto docente 2015				-0.135 *** (0.046)
CURSO*Efecto docente 2015				-0.007 (0.049)
R-squared	0.348	0.082	0.359	0.363
Observations	1633	1633	1633	1633

Fuente: estimaciones en base a información de PAM y Ceibal

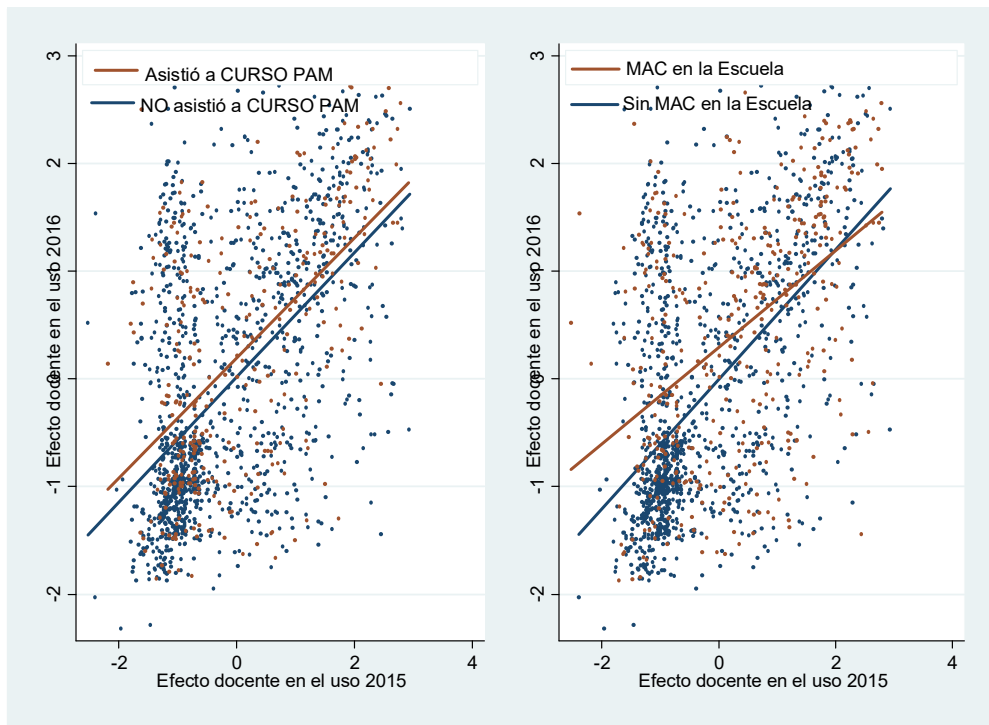
Errores estándar entre paréntesis. Significación: \*p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

Por último, la presencia del MAC y la asistencia a cursos de capacitación se revelan como acciones significativas para el uso de la herramienta. Esto último, aún descontado el efecto de la dependencia temporal en el uso de la PAM por parte del docente. Precisamente los términos de interacción que se incluyen en la ecuación (2) procuran identificar si el efecto positivo del MAC y de los cursos es homogéneo con el uso de la PAM en el año previo. Lo que observamos es que la presencia del MAC tiene un efecto decreciente cuanto mayor ha sido el uso en el año previo. Esto no sucede con la capacitación cuyo efecto es independiente del uso que se haya realizado previamente.



Estos últimos resultados pueden verse en el Gráfico 1, donde se representa la dependencia temporal, es decir, la relación entre el efecto o uso docente en el año 2015 (eje horizontal) y el uso en el año 2016 (eje vertical). En el gráfico de la izquierda se muestra cómo dicha relación se traslada hacia arriba de forma paralela por efecto de los cursos de capacitación, indicando la efectividad de los mismos para todos los docentes tengan o no un uso intensivo previamente. El gráfico de la derecha muestra que la presencia del MAC tiene un alto efecto cuando el uso inicial de la PAM es bajo o nulo y luego es decreciente.

**Gráfico 1. El efecto de los Cursos de capacitación y del MAC en el la relación entre el uso docente en 2016 y el uso en 2015**



Fuente: estimaciones en base a información de PAM y Ceibal

## Conclusiones

Es difícil imaginar un futuro en la educación que prescindiera de los recursos tecnológicos producidos profesionalmente para facilitar y potenciar la tarea de los docentes. La incorporación de estos recursos, sin embargo, requiere de un proceso de adaptación de las prácticas y del rol de los docentes. La Plataforma Adaptativa de Matemática es un ejemplo de este tipo de herramientas, que ha sido puesta a disposición del sistema educativo uruguayo por parte de Plan Ceibal y sus impactos positivos han sido documentados recientemente.

El uso de la PAM ha crecido desde su incorporación en el año 2013. En 2016 aproximadamente la mitad de los estudiantes de 3ro a 6to grado de educación primaria hicieron algún uso de la misma.

El presente estudio identificó los factores asociados a la utilización de la PAM poniendo foco en la importancia del efecto docente y en la efectividad de las acciones desplegadas por el Plan Ceibal para facilitar su uso.

Los resultados muestran que el uso se concentra mayoritariamente en los alumnos de grados superiores, no existiendo grandes diferencias por género y contexto socioeconómico. La variable con mayor incidencia sobre la probabilidad de uso de la herramienta es la relativa al uso docente. El análisis de la varianza confirma que el uso de la PAM está fuertemente asociado al factor docente.

Por último, las acciones de Plan Ceibal como facilitador han sido efectivas. La presencia de MAC en el centro educativo y los cursos de capacitación están asociados positivamente con la probabilidad e intensidad de uso de la herramienta.

## Referencias

Angrist, J., & Lavy, V. (2002). New evidence on classroom computers and pupil learning. *The Economic Journal*, 112(482), 735-765.

Banerjee, A. V., Cole, S., Duflo, E., & Linden, L. (2007). Remedying education: Evidence from two randomized experiments in India. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1235-1264.

Bielefeldt, T. (2005). Computers and student learnings: Interpreting the multivariate analysis of PISA 2000. *Journal of Research on Technology in Education*, 37(4), 339-347.

Campuzano, L., Dynarski, M., Agodini, R., & Rall, K. (2009). Effectiveness of Reading and Mathematics Software Products: Findings From Two Student Cohorts. NCEE 2009-4041. *National Center for Education Evaluation and Regional Assistance*.

Chetty, R., Friedman, J. N., & Rockoff, J. E. (2014a). Measuring the impacts of teachers I: Evaluating bias in teacher value-added estimates. *American Economic Review*, 104(9), 2593-2632.

Cheung, A. C., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. *Educational research review*, 9, 88-113.

Cragg, J. G. (1971). Some statistical models for limited dependent variables with application to the demand for durable goods. *Econometrica* 39: 829-844.

De Witte, K., Haelermans, C., & Rogge, N. (2015). The effectiveness of a computer assisted math learning program. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(4), 314-329.

Gil-Flores, J., Rodríguez-Santero, J., & Torres-Gordillo, J. J. (2017). Factors that explain the use of ICT in secondary-education classrooms: The role of teacher characteristics and school infrastructure. *Computers in Human Behavior*, 68, 441-449.

Hanushek, E. A., & Rivkin, S. G. (2010). Generalizations about using value-added measures of teacher quality. *American Economic Review*, 100(2), 267-271 (May).

Kane, T.J., & D.O. Staiger (2008) "Estimating Teacher Impacts on Student Achievement: An Experimental Evaluation," NBER Working Paper 14607.

Koedinger, K. R., McLaughlin, E. A., & Heffernan, N. T. (2010). A quasi-experimental evaluation of an on-line formative assessment and tutoring system. *Journal of Educational Computing Research*, 43(4), 489-510.

Kulik, J. A. (2003). *Effects of using instructional technology in elementary and secondary schools: What controlled evaluation studies say*. Arlington, VA: sri International.

Marconi, C., Brovetto, C., Perera, M. & Méndez, I. (2017). Estudio sobre la calidad de la enseñanza de inglés a través de videoconferencia: características y prácticas docentes, interacciones en el aula y aprendizajes. [ceibal.edu.uy/articulo/evaluacion](http://ceibal.edu.uy/articulo/evaluacion)

Perera, M., & Aboal, D. (2017). Evaluación del Impacto de la Plataforma Adaptativa de Matemática en los resultados de los aprendizajes.

Pilli, O., & Aksu, M. (2013). The effects of computer-assisted instruction on the achievement, attitudes and retention of fourth grade mathematics students in North Cyprus. *Computers & Education*, 62, 62-71.

Scharnagl, S., Evanschitzky, P., Streb, J., Spitzer, M., & Hille, K. (2014). Sixth graders benefit from educational software when learning about fractions: A controlled classroom study. *Numeracy*, 7(1), 4.

Vanderlinde, R., Aesaert, K., & Van Braak, J. (2014). Institutionalised ICT use in primary education: A multilevel analysis. *Computers & Education*, 72, 1-10.

Waxman, H., Connell, M., & Gray, J. (2002). A quantitative synthesis of recent research on the effects of teaching and learning with technology on student outcomes.

## **Autores**

**Diego Aboal:** Director del Centro de Investigaciones Económicas (CINVE, Uruguay). Es PhD in Economics (University of Essex), Master of Science in Economics (London School of Economics) y Magister en Economía (Universidad de la República). Es Profesor en las Universidades ORT Uruguay y de la República. Sus trabajos han sido aceptados en las siguientes revistas académicas: Industrial and Corporate Change, Economics of Innovation and New Technology, World Development, Journal of Development Studies, Small Business Economics, Emerging Markets Finance and Trade, European Journal on Criminal Policy and Research, CEPAL Review. Sus áreas principales de investigación son la Economía de la Ciencia, Tecnología e Innovación.

**Ana Clara Bauzán:** Licenciada en Economía por la Universidad de la República Oriental del Uruguay (UDELAR). Se desempeña en el área de investigación, principalmente en las áreas de educación. En forma paralela ha recibido formación en herramientas vinculadas al análisis de datos y técnicas de evaluación. Trabajó en organismos multilaterales en el seguimiento de indicadores de gestión. Actualmente trabaja como investigadora en Plan Ceibal.

**Marcela Gómez:** Licenciada en Economía por la Universidad de la República del Uruguay. Consultora de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe en temas de mercado laboral. Actualmente, se desempeña como investigadora en áreas de educación y tecnología, particularmente en el campo de plataformas educativas.

**Inés Méndez:** Licenciada en Economía de la Universidad de la República del Uruguay y Magíster en Políticas Públicas de la Universidad Católica (Uruguay). Desde 2013 trabaja como investigadora especializada en las áreas de educación y tecnología de la información. Actualmente trabaja como investigadora en el Instituto Nacional de Evaluación Educativa (INEEd).

**Marcelo Perera:** Doctor en Economía por la Universidad de Alcalá (España) y Licenciado en Economía por la Universidad de la República de Uruguay (UdelaR). Se desempeña como Investigador en el Centro de Investigaciones Económicas (CINVE) y en la Red Sudamericana de Economía Aplicada. Es profesor de Economía en la UdelaR y de Econometría en la Universidad ORT (Uruguay). Sus áreas de especialidad son la economía laboral, la economía del desarrollo y la evaluación de impacto. Sus líneas de investigación más recientes son la relación entre la innovación y el empleo, la evaluación de políticas de desarrollo productivo y de políticas educativas.

**Yanedy Pérez:** Master en Gestión de Información, por la Universidad de Murcia, España y Licenciada en Economía, en la especialidad de Ciencias Empresariales, por la Universidad de La Habana, Cuba. En la actualidad, Investigadora del Departamento de Evaluación y Monitoreo de Plan Ceibal, en las áreas de tecnología de la información y educación.