



“CONDICIÓN FÍSICA, NUTRICIÓN Y RENDIMIENTO ACADÉMICO EN CONTEXTO SOCIOECONÓMICO”

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN POLÍTICAS PÚBLICAS**

**Alumno: Pablo Cáceres Maldonado
Profesor Guía: Juan Pablo Valenzuela**

Santiago, Marzo 2017

Resumen

Una creciente línea de investigación ha asociado la nutrición y condición física con la función cognitiva y los logros de aprendizaje. En este estudio, exploramos dicha relación a través del análisis de la influencia de los hábitos de alimentación y la condición física en el rendimiento en las pruebas de lenguaje y matemáticas del Sistema Nacional de evaluación de resultados de aprendizaje (SIMCE), en una muestra representativa de los estudiantes de octavo año básico a nivel nacional. Para esto, ajustamos modelos de regresión lineal múltiple con y sin efectos fijos por escuela, además de controlar por un amplio set de co-variables relativas a las características sociodemográficas de los estudiantes. Nuestros principales hallazgos dan cuenta de una relación positiva y significativa entre el consumo de lácteos y verduras con el SIMCE; una asociación negativa y significativa entre el consumo de comida rápida y el SIMCE; una asociación positiva y significativa entre una mayor capacidad cardiorrespiratoria y una mejor salud cardiovascular (medidas por el VO_{2max} y la razón cintura-estatura, respectivamente) con el rendimiento en el SIMCE. Así, este estudio sugiere que los hábitos de vida saludable, expresados en una nutrición adecuada y una buena condición física, pueden aportar positivamente a mejorar los logros de aprendizaje. Finalmente, se delinean futuros desafíos para esta incipiente línea de investigación, y se discuten sus implicancias en cuanto a potenciales intervenciones de política pública.

Índice de Contenidos

Resumen	2
1. Introducción	4
2. Antecedentes	4
2.1 Condición Física y Función Neurocognitiva	4
2.2 Condición Física y Rendimiento Académico	6
2.3 Nutrición, cognición y resultados académicos	7
2.4 Evidencia para Chile	8
3. Objetivos e Hipótesis	9
4. Datos y Metodología	9
4.1 Bases de datos	9
4.2 Mediciones y Variables	10
4.2.1 Rendimiento académico	10
4.2.2 Antecedentes sociodemográficos	10
4.2.3 Características de la escuela y sus estudiantes	10
4.2.4 Hábitos alimenticios	11
4.2.5 Condición Física	11
4.3 Modelo de análisis	13
5. Resultados	16
6. Discusión	21
Agradecimientos	25
7. Referencias	26
8. Anexo	33

1. Introducción

En la actualidad, el sobrepeso y la obesidad infantil se han transformado en uno de los problemas de salud pública más acuciantes a nivel internacional (Nishtar, Gluckman, & Armstrong, 2016; WHO, 2016). En Chile se estima que en 2013 el 34% de los niños menores de 6 años que se atendían en el sistema público de salud se encontraban con sobrepeso u obesidad (MINSAL, 2014), cifra alarmante en atención a los graves problemas de salud que típicamente se asocian con esta condición en el mediano y largo plazo (v.gr. enfermedades cardiovasculares y metabólicas, disfunciones musculoesqueléticas, problemas de ansiedad y depresión; Mokdad et al., 2003; Visscher & Seidell, 2001)). En la actualidad, la preocupación por las consecuencias del estado de salud de los niños y jóvenes se ha extendido al campo educacional, en atención a una creciente literatura que ha vinculado la nutrición, ejercicio y condición física con desarrollo neurocognitivo y los logros de aprendizaje (Burkhalter & Hillman, 2011; Castelli, Hillman, Buck, & Erwin, 2007; Chaddock, Pontifex, Hillman, & Kramer, 2011; Eveland-Sayers, Farley, Fuller, Morgan, & Caputo, 2009; Gómez-Pinilla, 2008; Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; Khan & Hillman, 2014; Meeusen, 2014). En este contexto profundizar en el conocimiento sobre la relación entre nutrición, condición física y rendimiento académico es una empresa de tremendo interés, considerando el potencial que tiene la mejora de la condición física y hábitos alimenticios como mecanismo para abordar simultáneamente, los desafíos en materia de salud y educación que actualmente enfrentan diversos países en el mundo. Con el fin de avanzar en esta agenda de investigación, en este artículo analizamos la relación entre las distintas dimensiones de la condición física y hábitos alimenticios con el rendimiento académico en lenguaje y matemáticas en Chile.

2. Antecedentes

2.1 Condición Física y Función Neurocognitiva

La condición física es un indicador clave de la salud física y mental, la cual describe una serie de atributos que poseen los individuos en un momento del tiempo. Se trata de un constructo multidimensional que típicamente involucra: (a) resistencia cardiorrespiratoria; (b) fuerza muscular; (c) resistencia muscular; (d) flexibilidad; (e) composición corporal (Caspersen, Powell, & Christenson, 1985). En general, una mejor condición física es el resultado de niveles moderados y altos de actividad física y una buena nutrición (Mark Stephen Tremblay, Colley, Saunders, Healy, & Owen, 2010).

Uno de los principales motivos por el cual la condición física sería clave para el rendimiento académico, apunta al impacto que tendría en el desarrollo de las funciones cognitivas que forman el cimiento de los logros de aprendizaje. En particular, sobre las funciones ejecutivas (i.e., control inhibitorio, memoria de trabajo y

flexibilidad cognitiva; Diamond, 2013)) y la memoria, piezas fundamentales para la capacidad de auto-regulación, razonamiento y procesos de aprendizaje (Best, Miller, & Naglieri, 2011; Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson, & Grimm, 2009; Diamond, 2013; Diamond & Lee, 2011; Duckworth & Carlson, 2013; Kolodner & Riesbeck, 2014; St Clair-Thompson & Gathercole, 2006). Esta asociación sería posible gracias a que los circuitos cerebrales a cargo de estas funciones (i.e., básicamente la corteza prefrontal y el hipocampo) tienen periodos de maduración y plasticidad extendidos en el tiempo (Casey, Giedd, & Thomas, 2000; Giedd et al., 1999; Lenroot & Giedd, 2006), y por lo tanto, serían más susceptibles de ser moldeados por estímulos medioambientales, como una buena –o mala- condición física y una mayor –o menor- actividad física que típicamente le acompaña. El caso del hipocampo, estructura esencial para el aprendizaje, memoria y cognición espacial (Bird & Burgess, 2008; Jarrard, 1993; Squire, 1992; Wirth et al., 2003), es de sumo interés, pues estudios recientes han mostrado que la actividad física promueve la neurogénesis (i.e., la creación de nuevas células neuronales), y por extensión, favorece la función cognitiva (Eriksson et al., 1998; Gould, Beylin, Tanapat, Reeves, & Shors, 1999; Kempermann & Gage, 1999).

En general, la evidencia en esta materia advierte una asociación positiva entre una mejor condición física, memoria y funciones ejecutivas, apuntando a la capacidad cardiorrespiratoria como el principal factor mediando esta relación (Hillman et al., 2008; Khan & Hillman, 2014). En el caso de la memoria, investigación reciente ha extendido los hallazgos de modelos animales a poblaciones humanas. Chaddock et al. (2010) han mostrado que niños entre 9 a 10 años con una alta capacidad aeróbica ($\geq P70 VO_{2max}$) tienen un mayor volumen hipocampal, lo que se traduce en un mejor rendimiento en una tarea de memoria relacional en comparación con sus pares con una baja capacidad aeróbica ($\leq P30 VO_{2max}$). En la misma línea, Erickson et al. (2009) encuentran que una mayor capacidad aeróbica se asocia con un incremento en el volumen hipocampal, lo que se asocia con un mejor rendimiento en una tarea de memoria espacial.

Contrastando con la investigación sobre memoria, la evidencia respecto la relación entre funciones ejecutivas y capacidad cardiorrespiratoria es más abundante y se ha centrado en poblaciones humanas (Khan & Hillman, 2014). Por ejemplo, Chaddock et al. (2012) evaluaron la relación entre la capacidad cardiorrespiratoria y el rendimiento en una tarea de control inhibitorio (“flankertask”) en preadolescentes. Sus resultados sugieren que los participantes con una alta capacidad aeróbica ($\geq P70 VO_{2max}$), son más eficientes modulando los procesos neurales involucrados en el control cognitivo necesario para cumplir y mantener los objetivos en la tarea de control inhibitorio. Por otra parte, Hillman, Castelli, & Buck (2005) haciendo uso de registros electroencefalográficos (EEG), muestran que una mejor condición aeróbica se asocia con una mayor implicación de la atención, memoria de trabajo y velocidad de respuesta tanto en niños como en adultos. En la misma dirección, Buck, Hillman, & Castelli, (2008) evidencian que una mayor capacidad aeróbica se relaciona positivamente con un mejor rendimiento en una serie de tareas de control de interferencia (i.e., la habilidad de inhibir información irrelevante para ejecutar una tarea) en niños de entre 7 y 12 años.

2.2 Condición Física y Rendimiento Académico

Como se ha adelantado, una de las consecuencias del impacto positivo de la condición física sobre el desarrollo neurocognitivo refiere a la potenciación de los resultados académicos. A este respecto, la literatura en general muestra un patrón consistente de asociación entre mejor condición física y mayor rendimiento académico. Los estudios en este ámbito suelen ser de dos tipos: los que evalúan esta asociación con indicadores globales de condición física (Chomitz et al., 2009; Grissom, 2005; London & Castrechini, 2011) y los que lo hacen utilizando una o varias dimensiones de forma independiente (Bass, Brown, Laurson, & Coleman, 2013; Chaddock-Heyman et al., 2015; Coe, Peterson, Blair, Schutten, & Peddie, 2013; Dwyer, Sallis, Blizzard, Lazarus, & Dean, 2001; Esteban-Cornejo et al., 2014; Roberts, Freed, & McCarthy, 2010; Van Dusen, Kelder, Kohl, Ranjit, & Perry, 2011; Wittberg, Northrup, & Cottrell, 2012). El primer conjunto de estudios si bien confirma la relación entre ambas dimensiones, deja en la sombra la identificación de las dimensiones específicas de la condición física asociadas al logro académico.

Al desagregar las dimensiones de la condición física en el análisis nos encontramos con una historia más interesante e ilustrativa. La mayor parte de los estudios muestran que la capacidad cardiorrespiratoria se encuentra positivamente asociada a un mejor desempeño académico (Bass et al., 2013; Castelli et al., 2007; Chaddock-Heyman et al., 2015; Esteban-Cornejo et al., 2014; Roberts et al., 2010; Van Dusen et al., 2011; Wittberg et al., 2012); mientras que se observa evidencia mixta sobre el rol de la fortaleza muscular, resistencia muscular y composición física (Bass et al., 2013; Castelli et al., 2007; Coe et al., 2013; Dwyer et al., 2001; Esteban-Cornejo et al., 2014; Eveland-Sayers et al., 2009; Van Dusen et al., 2011); y asociaciones no significativas en el caso de la flexibilidad (Bass et al., 2013; Castelli et al., 2007; Coe et al., 2013; Van Dusen et al., 2011). Del análisis conjunto de la evidencia se extrae que la capacidad cardiorrespiratoria es el factor que manifiesta la asociación más fuerte y consistente con el logro académico tanto en pruebas estandarizadas y en otras medidas de desempeño, seguido, en algunos casos, por la fuerza y resistencia muscular.

Si bien la literatura a la fecha no permite hacer inferencias causales respecto a la asociación entre condición física y rendimiento académico, si provee de una serie de mecanismos fisiológicos que estarían a la base de dicha relación. Por una parte, una mejor capacidad y volumen de ejercicio cardiorrespiratorio promueve la *angiogénesis* (i.e., creación de vasos sanguíneos) facilitando la vascularización y oxigenación cerebral (Adkins, Boychuk, Remple, & Kleim, 2006; Kleim, Cooper, & VandenBerg, 2002); asimismo, el ejercicio cardiovascular, la fortaleza muscular y entrenamiento motor promueven la *sinaptogénesis* (i.e., creación de nuevas redes neuronales); y como ya se ha mencionado, la actividad cardiovascular se ha asociado con la *neurogénesis* (i.e., creación de nuevos cuerpos celulares) en el hipocampo (Eriksson et al., 1998; Kempermann & Gage, 1999; Van Praag, 2008), y con incrementos del factor neurotrófico derivado del cerebro (Ferris, Williams, & Shen, 2007; Neeper, Gómez-Pinilla, Choi, & Cotman, 1996), facilitando la supervivencia y desarrollo neuronal. Teóricamente,

todos estos procesos confluyen en facilitar los procesos cognitivos que operan como soporte de los logros de aprendizaje y habilidades académicas, sustentando los resultados evidenciados por la investigación en la materia.

2.3 Nutrición, cognición y resultados académicos.

Una nutrición adecuada es parte fundamental del logro de una condición física y mental saludable. Para desarrollarse y funcionar adecuadamente el cerebro requiere un suministro constante de nutrientes, los cuales pueden afectar su funcionamiento a través de la regulación de una serie de procesos moleculares y hormonales claves para el desarrollo, supervivencia y conectividad neuronal (Burkhalter & Hillman, 2011; Dauncey, 2009; Gómez-Pinilla, 2008; Meeusen, 2014; van Praag, 2009). Es así que dietas basadas en alimentos altos en grasas trans y saturadas (v.gr., mantequilla, carnes grasas, aceite de coco, etc.), se han asociado con un incremento en el riesgo de enfermedades neurodegenerativas y deterioro cognitivo (Gómez-Pinilla, 2008; Greenwood & Winocur, 1996; Lindqvist et al., 2006; Wiles, Northstone, Emmett, & Lewis, 2009; Winocur & Greenwood, 2005; Wu, Molteni, Ying, & Gomez-Pinilla, 2003; Zahedi et al., 2014); mientras que dietas basadas en alimentos con alto contenido de ácidos grasos omega 3 (v.gr., pescados, linaza, palta y varios tipos de frutas) y flavonoles (v.gr., chocolate, frutas cítricas, soja y varios tipos de verduras) se han vinculado con mejoras en la función cognitiva, memoria y una reducción del deterioro cognitivo a lo largo plazo (An et al., 2008; Burgess, Stevens, Zhang, & Peck, 2000; Gómez-Pinilla, 2008; Krikorian et al., 2010; Lee et al., 2010; Meeusen, 2014; Osendarp et al., 2007; Spencer, 2009; van Praag, 2009; Williams et al., 2008). Otros nutrientes como el calcio, zinc, selenio, hierro, cúrcuma y vitaminas B, D y E, también han mostrado influenciar positivamente la función cognitiva (Gómez-Pinilla, 2008).

Diversos estudios han ejemplificado la importancia de la nutrición en la función cognitiva y aprendizaje. Por ejemplo, una intervención experimental a 396 niños (6-10 años) en Australia y 384 en Indonesia mostró que la provisión de suplementos alimenticios ricos en micronutrientes (i.e., hierro, zinc, ácido fólico y vitaminas A, B-6, B-12 y C) y ácidos omega 3, resultó en una mejora significativa en test de aprendizaje verbal y memoria luego de 12 meses de intervención (Osendarp et al., 2007). Resultados similares se encontraron en una intervención experimental a 117 niños realizada en Durham, Reino Unido, donde la entrega de suplementos nutricionales con ácidos omega 3 y 6 mostró impactar positivamente las habilidades lectoras, de deletreo y conducta (Richardson, 2005). En consonancia con estos resultados, estudios como los de Wiles et al (2009) han evidenciado que un mayor consumo de “comida rápida” (alta en grasas trans y saturadas) a los 4 años de edad se asocia con mayores niveles de hiperactividad a los 7 años. En la misma línea, Feinstein et al (2008) han mostrado que el consumo de comida rápida a los 3 años impacta negativamente el rendimiento académico en etapas posteriores de la vida escolar, aun después de controlar por otras posibles variables explicativas.

Investigaciones más recientes han refrendado estos resultados (Bos et al., 2015; Johnson, Fransson, Östlund, Areskoug, & Gillberg, 2016). Por ejemplo, Johnson y sus colegas (2016) implementaron una intervención experimental con 154 niños de 9 a 10 años en Suecia, mostrando que la entrega de suplementos de ácidos Omega 3 y 6 tiene un impacto positivo en las habilidades lectoras. Resultados similares a los encontrados por Bos et al. (2015), quienes han mostrado que la suplementación de ácidos omega 3 mejora la capacidad atencional en niños con y sin trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). Sin embargo, a la fecha aún existe incertidumbre sobre la relación entre nutrición, mejora cognitiva y rendimiento académico, dado que existen varios estudios que no han encontrado un efecto significativo de las intervenciones nutricionales en las habilidades cognitivas y/o resultados de aprendizaje (Brew, Toelle, Webb, Almqvist, & Marks, 2015; Lam & Lawlis, 2016), lo que llama la atención sobre la necesidad de seguir investigando en la materia.

Los mecanismos a través de los cuáles la dieta impacta la función cognitiva son complejos y aún se encuentran en estudio. Sin embargo, la evidencia apunta a que los flavonoides y micronutrientes ejercen su efecto a través de su potencial de proteger a las neuronas del daño neurotóxico, además de sus propiedades de supresión neuroinflamatoria y antioxidantes (Spencer, 2009). Asimismo, los ácidos grasos Omega 3 estimularían la producción del factor neurotrófico derivado del cerebro, elemento clave para la supervivencia, plasticidad y desarrollo neuronal (Dauncey, 2009; Gómez-Pinilla, 2008).

2.4 Evidencia para Chile.

En el contexto nacional, estudios recientes han examinado la relación entre horas de actividad física programada y el rendimiento académico, y entre la calidad de la ingesta alimentaria y el rendimiento académico (Burrows et al., 2014; Correa-Burrows, Burrows, Blanco, Reyes, & Gahagan, 2016; Correa-Burrows, Burrows, Ibaceta, Orellana, & Ivanovic, 2014; Correa-Burrows, Burrows, Orellana, & Ivanovic, 2014a, 2014b). Por un lado, dichos estudios han mostrado que contar con >4 horas semanales de actividades físicas programadas incrementa significativamente la probabilidad de encontrarse en los niveles suficiente y adecuado de rendimiento académico en lenguaje y matemáticas (según estándares nacionales), aun después de controlar por antecedentes sociodemográficos (Burrows et al., 2014; Correa-Burrows, Burrows, Ibaceta, et al., 2014; Correa-Burrows, Burrows, Orellana, et al., 2014a); por otro lado, en un primer estudio, Correa-Burrows y sus colegas analizaron los datos de una muestra aleatoria de 1073 estudiantes de entre 11 y 15 años encontrando que consumir “snacks” poco saludables disminuye significativamente la probabilidad de encontrarse en un nivel suficiente de rendimiento académico en lenguaje y matemáticas (Correa-Burrows, Burrows, Orellana, et al., 2014b). En un segundo estudio, dichos autores aplicaron un cuestionario sobre pautas de alimentación a una muestra aleatoria de 395 estudiantes de entre 16 y 17 años, hallando una asociación positiva entre una ingesta alimentaria de mejor calidad y el rendimiento académico en lenguaje y matemáticas (Correa-Burrows et al., 2016). En conjunto, los

estudios referidos apuntan a que hábitos más saludables estarían asociados a un mejor rendimiento académico en general. Es importante notar que dichos estudios cuentan con un limitado set de covariables de control, no examinan la condición física (exceptuando el IMC) ni el nivel de actividad física efectivo (i.e., se trata de las horas “planificadas en programas” de actividad física, no de las horas “efectivas” de actividad física), y no cuentan con resguardos frente a problemas de causalidad reversa o sesgo de selección, por lo que representan un valioso primer acercamiento en la materia pero estrictamente correlacional y con un impacto de política pública acotado.

3. Objetivos e Hipótesis

El objetivo de este trabajo es profundizar en el conocimiento sobre la relación entre la condición física, nutrición y el rendimiento académico, medido a través de los resultados en la prueba SIMCE, y poner estos resultados en perspectiva socioeconómica. Esta es un área incipiente de investigación en Chile, por lo que los resultados de este estudio pueden aportar información valiosa con miras a informar el debate de política educacional en la materia. Una de las ventajas de este estudio es el uso de una muestra de gran tamaño a nivel nacional, lo que contrasta con la situación de la mayoría de los estudios en este ámbito, que suelen basarse en muestras pequeñas.

En base a la revisión de la literatura, levantamos la hipótesis que una alta capacidad y buena salud cardiovascular debiera encontrarse asociada con un mejor rendimiento en el SIMCE, aun controlando por una serie de otras variables explicativas. Adicionalmente, esperamos que la resistencia, flexibilidad y fuerza no se encuentren significativamente asociados, o bien, que su efecto sea de menor envergadura que el de la capacidad y salud cardiovascular. Por último, esperamos que hábitos de alimentación saludables, expresados en el consumo de frutas, lácteos y verduras, ricos en flavonoides y micronutrientes, contribuyan positivamente al rendimiento en ambas pruebas; por el contrario, esperamos que el consumo de “comida rápida”, alto en grasas trans y saturadas, impacte negativamente el rendimiento en el SIMCE. Para dar respuesta a estas hipótesis, nuestra estrategia analítica consiste en la especificación de un modelo de regresión lineal OLS por pasos para el conjunto de los estudiantes, introduciendo efectos fijos por escuela.

4. Datos y Metodología

4.1 Bases de datos

El análisis de datos se basa en la combinación de dos fuentes. La primera corresponde a las pruebas SIMCE (Sistema Nacional de Medición de la Calidad de la Educación) de lenguaje y matemáticas para 8° básico en 2014.

Este prueba corresponde a un test estandarizado con una media 250 puntos y desviación estándar de 50 puntos. Se trata de un cuasi-censo de la población escolar (256.983 estudiantes de 8° básico), perteneciente a 5.921 colegios públicos y privados a nivel nacional. La segunda fuente de información corresponde al Estudio Nacional de Educación Física (ENEF) 2014, aplicado a una muestra representativa de 10.213 estudiantes de 8° básico en 372 establecimientos a nivel nacional. Adicionalmente, se incluyeron datos de los cuestionarios a estudiantes y padres del SIMCE, los cuales proveen información acerca de las características sociodemográficas y otros atributos relevantes para este estudio. Al eliminar todos los estudiantes con casos perdidos y/o valores extremos en alguna de las 20 variables de estudio, la muestra se redujo a un total de 5.637 casos con información completa. Es importante notar que la comparación de la muestra resultante con la muestra de los casos excluidos indica diferencias significativas en algunas variables, aunque de menor magnitud. Dichas diferencias se describen en el Anexo al final del documento.

4.2 Mediciones y Variables

4.2.1 Rendimiento académico

Utilizamos los puntajes obtenidos en las prueba de matemática y lenguaje del SIMCE administrada por el Ministerio de Educación de Chile. Los puntajes fueron estandarizados para tener una media de 0 y una desviación estándar de 1.

4.2.2 Antecedentes sociodemográficos

Con el fin de tener un indicador cuantitativo de la condición social de los estudiantes, creamos un índice del nivel socioeconómico obtenido a través de un análisis factorial de la educación de la madre, la educación del padre y el ingreso familiar. El índice fue estandarizado para tener una media de 0 y desviación estándar 1. Adicionalmente, incluimos el sexo y la edad del estudiante para controlar por potenciales diferencias en dichas características en el rendimiento académico y cognitivo de los estudiantes, que típicamente se suelen encontrar en estudios en este ámbito.

4.2.3 Características de la escuela y sus estudiantes

Se introdujo una serie de variables dicotómicas indicando la dependencia administrativa del colegio al que asiste el alumno: público, particular subvencionado y particular privado. En el análisis la categoría de contraste corresponde a la de colegio público. Para controlar por el efecto de los pares en el rendimiento en la prueba SIMCE, calculamos el promedio notas para cada curso restando la nota del propio estudiante, y calculamos el

NSE promedio del curso restando el NSE del propio estudiante. Ambos puntajes fueron estandarizados para tener una media de 0 y una desviación estándar de 1. Adicionalmente, incluimos la condición de colegio urbano/rural y el tamaño de la escuela como controles.

4.2.4 Hábitos alimenticios

Como indicador de los hábitos alimenticios de los estudiantes, utilizamos el consumo semanal (en días por semana) de ciertos alimentos, a saber: comida rápida, lácteos, frutas y verduras. Esta variable es auto-reportada en el cuestionario para estudiantes del SIMCE.

4.2.5 Condición Física

El Estudio Nacional de Educación Física (ENEF) 2014 midió la condición física de los estudiantes a través de un conjunto de pruebas validadas y estandarizadas a nivel nacional e internacional en las cinco dimensiones antes mencionadas: (a) resistencia cardiorrespiratoria; (b) fuerza muscular; (c) resistencia muscular; (d) flexibilidad; (d) composición corporal (Caspersen et al., 1985).

Resistencia aeróbica y rendimiento cardiovascular: el ENEF aplicó el test de Cafra y el test de Navette. El primer test tiene por objetivo establecer la capacidad adaptativa a nivel cardiovascular a mediana intensidad, por lo que sólo se utilizó como filtro para eximir de realizar el test de Navette a aquellos estudiantes con riesgo cardiovascular. El test de Navette tiene por fin estimar la resistencia aeróbica máxima, es decir, la capacidad corporal para suministrar el oxígeno necesario a los músculos durante un esfuerzo máximo (Leger, Mercier, Gadoury, & Lambert, 1988). A partir de los resultados de este test calculamos el VO_{2max} , es decir, el consumo máximo de oxígeno en un periodo determinado de tiempo, que corresponde a la forma más eficaz de medir la capacidad aeróbica de un individuo. Para el cálculo del VO_{2max} de cada estudiante utilizamos la fórmula de Leger (1988):

Ecuación (1)

$$VO2 \text{ max} = (31,025) + (3,238 * X) - (3,248 * A) + (0,1536 * A * X)$$

Donde *A* corresponde a la edad del estudiante y *X* a la velocidad en que se detuvo en la prueba. A partir de los valores obtenidos clasificamos a los estudiantes en seis grupos de rendimiento, siguiendo las normas técnicas para este grupo de edad (Kenney, Wilmore, & Costill, 2015): *pobre, bajo, aceptable, buena, excelente y superior*. En el análisis, se introdujeron estas categorías como una serie de variables dicotómicas utilizando la categoría “*pobre*” como contraste. *Fuerza muscular:* se midió a través de la distancia (cm) alcanzada en la prueba

de salto a pies juntos. *Resistencia muscular*: se midió a través de la cantidad de abdominales que cada estudiante fue capaz de realizar en una unidad de tiempo. *Flexibilidad*: se midió a través de la flexión de tronco hacia delante (cm) o test de Wells – Dillon adaptado, el cual establece el rango de movimiento articular coxofemoral y de la columna lumbar. Esta prueba determina la flexibilidad de los músculos isquiotibiales, glúteos y paravertebrales. *Composición corporal (antropometría)*: se midió a través del peso, estatura y perímetro de cintura. Para fines de este estudio calculamos el índice de masa corporal (IMC) y la razón cintura estatura (RCE) a través de las fórmulas (2) y (3) respectivamente. Ambas medidas fueron estandarizadas para tener media 0 y desviación estándar 1. Estudios previos han establecido que la razón cintura-estatura es una buena medida de riesgo cardiovascular y que valores superiores a 0,55 dan cuenta de la presencia de dicho riesgo (Arnaiz et al., 2010; Arnaíz et al., 2010). Por este motivo es que interpretamos esta medida como un indicador de la salud cardiovascular de los estudiantes. En la **Tabla 1** se reportan las estadísticas descriptivas de las variables de mayor interés para el estudio.

Ecuación (2):

$$IMC = \frac{Peso_{(kg)}}{Altura_{(m)}^2}$$

Ecuación (3):

$$RCE = \frac{Perímetro\ de\ cintura_{(cm)}}{Estatura_{(cm)}}$$

TABLA 1: Descriptivos y frecuencias variables de interés

	n	media	de*	min	max
VARIABLES SOCIODEMOGRÁFICAS INDIVIDUALES					
y familiares					
SIMCE Matemáticas	5637	0	1	-2,48	2,92
SIMCE Lenguaje	5637	0	1	-2,33	2,49
Sexo (1=hombre)	5637	0,54	-	0	1
Edad (años)	5637	13,94	0,87	12	18
Repitencia (1=repitente)	5637	0,02	-	0	1
Índice NSE	365	0	1	-3,13	2,55
Nutricionales y Físicas Individuales					

Consumo de lácteos (días por semana)	5637	3,98	2,45	0	7
Consumo de frutas (días por semana)	5637	3,64	2,27	0	7
Consumo de verduras (días por semana)	5637	4,56	2,32	0	7
Consumo de comida rápida (días por semana)	5637	1,59	1,67	0	7
VO2max (pobre)	5637	0,03	-	0	1
VO2max (bajo)	5637	0,04	-	0	1
VO2max (aceptable)	5637	0,24	-	0	1
VO2max (bueno)	5637	0,28	-	0	1
VO2max (excelente)	5637	0,13	-	0	1
VO2max (superior)	5637	0,28	-	0	1
Razón cintura-estatura	5637	0	1	-5,2	9,46
Salto a pies juntos (cm)	5637	144,82	31,5	35	262
Abdominales	5637	22,04	5,2	1	78
Flexión de tronco (cm)	5637	27,92	8,6	1	59
IMC ¹	5637	0	1	-2,26	2,78
Variables del curso					
Media de NSE del curso del estudiante	542	0	1	-2,68	3,21
Media de notas del curso del estudiante	542	0	1	-6,2	2,17
Variables del establecimiento					
Establecimiento Público	365	0,33	-	0	1
Establecimiento Subvencionado	365	0,57	-	0	1
Establecimiento Privado	365	0,1	-	0	1
Escuela rural (1=rural)	365	0,07	-	0	1
Matricula total establecimiento	365	721,38	526,8	45	3285

*La desviación estándar (se) no es reportada para variables binarias

4.3 Modelo de análisis

Con el fin de evaluar la asociación entre el desempeño en la prueba SIMCE y los factores antes señalados, utilizamos dos modelos: una regresión lineal múltiple según lo especificado en la Ecuación (4); una regresión lineal múltiple con efectos fijos por escuela según lo especificado en la Ecuación (5).

¹Como medida precautoria ante la presencia de potenciales errores de digitación o registro en las mediciones de altura y peso, conservamos los casos con un IMC menor a 32 y mayor a 14. Estos valores son los más altos o bajos para adolescentes del rango de edad del estudio (12 a 18 años) de las tablas de referencia de la Organización Mundial de la Salud.

Ecuación (4):

$$\gamma_i = \beta_0 + \beta_1 A_i + \beta_2 F_i + \beta_3 E_i + \beta_4 P_i + \beta_5 H_i + \beta_5 C_i + \varepsilon_1$$

Ecuación (5):

$$\gamma_{is} = \beta_0 + \beta_1 A_{is} + \beta_2 F_{is} + \beta_3 P_{is} + \beta_4 H_{is} + \beta_5 C_{is} + \Sigma \gamma Fs + \varepsilon_1$$

Donde, en el primer caso, el rendimiento en la prueba SIMCE (γ) del estudiante (i) en la escuela (s) está determinado por un vector de las características del estudiante (A); un vector las características de su familia (F); un vector los atributos de la escuela donde asiste el estudiante (E); un vector de las características promedio de sus pares en la escuela (P); por un vector de los hábitos de alimentación del estudiante (H); por un vector de la condición física registrada en las distintas pruebas realizadas (C); y por un término de error (ε). Con el fin de robustecer nuestro análisis y eliminar el efecto de un posible pareo positivo entre escuelas y estudiantes con mejores hábitos alimenticios y condición física (i.e., el hecho de que los estudiantes no se distribuyen aleatoriamente entre las escuelas), repetimos todas las estimaciones incluyendo efectos fijos por escuela ($\Sigma \gamma Fs$). Al incluir efectos fijos por escuela, controlamos por el efecto de las características fijas observadas y no observadas de las escuelas sobre el rendimiento en el SIMCE que se mantienen constantes para todos los estudiantes, eliminando este factor como posible fuente de sesgo. Básicamente esto equivale a introducir una serie de variables dicotómicas 0 y 1, una para cada escuela, sin reportar los coeficientes individuales para cada una de ellas. En este caso, el vector “ E ” desaparece de la estimación, al ser absorbido por la introducción de los efectos fijos por escuela.

En la **Tabla 2** se describen las variables incluidas en los modelos. El objetivo de nuestra estrategia analítica es introducir la mayor variedad y cantidad de controles posibles que la literatura ha demostrado previamente su relevancia y vinculación con el desempeño educativo de los estudiantes, de modo de estimar de la forma más precisa posible la asociación entre la condición física, nutrición y el logro académico. Como mostraremos en la siguiente sección, para lograr este propósito estimamos ocho modelos por prueba en los que secuencialmente introdujimos distintos set de co-variables aludiendo a las distintas hipótesis antes previstas.

TABLA 2: Definición de variables incluidas en el modelo

Variable	Definición
Rendimiento académico	
SIMCE Lenguaje	Puntaje obtenido en la prueba SIMCE de lenguaje (Estandarizado para tener media 0 y

SIMCE Matemáticas	desviación estándar 1) Puntaje obtenido en la prueba SIMCE de matemáticas (Estandarizado para tener media 0 y desviación estándar 1)
Estudiantes	
Edad	En años cumplidos
Género	Dummy 1 = hombre
Repitencia	Dummy 1 = reprobado
Familia	
Índice de nivel socioeconómico	Educación del padre; Educación de la madre; Ingreso familiar
Escuela	
Escuela pública	Dummy 0 = pública; categoría de contraste
Escuela subvencionada	Dummy 1 = subvencionada
Escuela privada	Dummy 1 = privada
Ruralidad	Dummy 1 = rural
Tamaño del establecimiento	Total de estudiantes matriculados
Curso (Pares)	
Índice de NSE de los compañeros de clase	Promedio de índice de NSE restando el NSE del estudiante i
Rendimiento de los compañeros de clase	Promedio de notas anual restando el promedio del estudiante i
Alimentación	
Consumo de comida rápida	Días a la semana de consumo
Consumo de lácteos	Días a la semana de consumo
Consumo de frutas	Días a la semana de consumo
Consumo de verduras	Días a la semana de consumo
Condición física	
Capacidad cardiovascular pobre (VO ₂ max)	Dummy 0 = pobre; categoría de contraste
Capacidad cardiovascular baja (VO ₂ max)	Dummy 1 = baja
Capacidad cardiovascular aceptable (VO ₂ max)	Dummy 1 = aceptable
Capacidad cardiovascular buena (VO ₂ max)	Dummy 1 = buena
Capacidad cardiovascular excelente (VO ₂ max)	Dummy 1 = excelente
Capacidad cardiovascular superior	Dummy 0 = superior

(VO2max)	
Riesgo cardiovascular	Razón cintura-estatura (perímetro de cintura (cm)/estatura(cm))
Fuerza	Distancia de salto a pies juntos (cm)
Resistencia	Número de abdominales
Flexibilidad	Flexión de tronco (cm)
IMC	Índice de Masa Corporal (Peso (kg)/Altura ² (m))

5. Resultados

En esta sección presentamos los resultados de los modelos de regresión². La **Tabla 3** y **4** muestran los parámetros estimados para ocho modelos de regresión que vinculan el resultado en la prueba SIMCE de lenguaje y matemática, respectivamente, con los factores antes definidos (ver **Tabla 2**). Los primeros modelos (**Leng(1)**, **Leng(2)**, **Mat(1)** y **Mat(2)**) incluyen únicamente las características individuales de los estudiantes, con y sin efectos fijos. En primer lugar se observa que, en general, los resultados se encuentran en línea con estudios previos respecto al SIMCE (Hsieh & Urquiola, 2006; McEwan & Carnoy, 2000; McEwan, Urquiola, & Vegas, 2008; Mizala & Romaguera, 2000; Mizala & Torche, 2012). Los hombres obtienen un peor desempeño en el SIMCE de lenguaje ($b = -0,248; -0,155$) y un mejor desempeño en el de matemáticas ($b = 0,067; 0,125$). Además, se aprecia que en ambas pruebas los puntajes escalan negativa y significativamente tanto con la edad (lenguaje: $b = -0,076; -0,068$; matemáticas: $-0,072; -0,063$) como con la condición de repitencia (lenguaje: $b = -0,561; -0,671$; matemáticas: $-0,616; -0,730$). Por último, consistente con la literatura previa, los puntajes del SIMCE de lenguaje ($b = 0,311; 0,158$) y matemáticas ($b = 0,403; 0,141$) escalan positivamente con el índice de NSE.

El segundo conjunto de modelos (**Leng(3)**, **Leng(4)**, **Mat(3)** y **Mat(4)**) incluye como controles los atributos de la escuela y de los pares del estudiante. En este caso, todas las variables del primer conjunto de modelos mantienen la dirección y significancia de su asociación, con la particularidad de que el índice de NSE disminuye notoriamente su efecto en ambas pruebas. Respecto a las características de las escuelas, se observa que la condición de ruralidad tiene una asociación positiva con ambas pruebas (lenguaje: $b = 0,177$; matemáticas: $b = 0,163$), cosa que no se repite ni con el tipo de dependencia ni con el total de la matrícula.

Por otra parte, en los modelos sin efectos fijos, los resultados muestran una asociación positiva y significativa en ambas pruebas tanto del rendimiento académico promedio de los pares en el curso (lenguaje: $b = 0,049$; matemáticas: $b = 0,09$), así como con su NSE (lenguaje: $b = 0,194$; matemáticas: $b = 0,292$). En los modelos con efectos fijos, sólo el NSE promedio del curso sigue siendo significativo y positivo ($b = 0,194$),

²Todos los análisis fueron realizados en STATA 12

mientras que el resto de las asociaciones recién mencionadas dejan de serlo. Es interesante notar que en ambas pruebas el NSE promedio de los compañeros de curso tiene un efecto mayor que el NSE del propio estudiante en su rendimiento. En general, las asociaciones del primer y segundo conjunto de modelos se mantienen estables a través del tercer y cuarto conjunto de modelos, salvo pequeñas variaciones en su magnitud y significancia, además de estar en línea con la mayor parte de la literatura previa en la materia.

TABLA 3: Modelos regresión. Asociación entre variables de estudio y puntaje estandarizado (Media=0; DE=1) en la prueba SIMCE de lenguaje. Modelos 2,4,6 y 8 con efectos fijos por escuela.

	Leng(1)	Leng(2)	Leng(3)	Leng(4)	Leng(5)	Leng(6)	Leng(7)	Leng(8)
Sexo (1=hombre)	-0.224*** (-6.58)	-0.155*** (-5.54)	-0.209*** (-6.29)	-0.158*** (-5.61)	-0.189*** (-5.90)	-0.140*** (-5.13)	-0.115** (-2.84)	-0.0634 (-1.63)
Edad (años)	-0.0765*** (-5.40)	-0.0679*** (-4.78)	-0.0787*** (-5.64)	-0.0670*** (-4.73)	-0.0734*** (-5.27)	-0.0640*** (-4.52)	-0.0715*** (-5.16)	-0.0663*** (-4.65)
Repitencia (1=repitente)	-0.561*** (-4.70)	-0.671*** (-7.33)	-0.525*** (-4.58)	-0.665*** (-7.36)	-0.477*** (-4.43)	-0.612*** (-7.10)	-0.466*** (-4.32)	-0.609*** (-6.90)
Índice NSE	0.311*** (15.04)	0.158*** (9.08)	0.172*** (9.43)	0.167*** (9.18)	0.149*** (8.21)	0.151*** (8.28)	0.143*** (8.01)	0.146*** (8.08)
Subvencionado			-0.0298 (-0.33)		-0.0346 (-0.41)		-0.0345 (-0.41)	
Privado			0.0125 (0.06)		-0.00769 (-0.04)		-0.00343 (-0.02)	
Escuela rural (1=rural)			0.177* (2.21)		0.153 (1.96)		0.144 (1.85)	
Matricula total			-0.000024 (-0.44)		-0.0000209 (-0.39)		-0.0000207 (-0.40)	
Media del curso de NSE			0.194*** (3.69)	0.163* (2.30)	0.182*** (3.63)	0.170* (2.47)	0.174*** (3.56)	0.168* (2.44)
Media del curso de notas			0.0490* (2.09)	-0.0505 (-1.56)	0.0458* (2.03)	-0.0531 (-1.70)	0.0429 (1.89)	-0.0550 (-1.75)
Consumo de lácteos					0.0316*** (5.17)	0.0209*** (3.52)	0.0306*** (5.00)	0.0201*** (3.38)
Consumo de frutas					-0.00890 (-1.43)	-0.0141* (-2.34)	-0.00898 (-1.45)	-0.0134* (-2.23)
Consumo de verduras					0.0247*** (4.10)	0.0290*** (5.09)	0.0239*** (4.04)	0.0279*** (4.93)
Consumo de comida rápida					-0.0771*** (-4.10)	-0.0572*** (-4.10)	-0.0795*** (-4.10)	-0.0586*** (-4.10)

					(-9.22)	(-7.30)	(-9.53)	(-7.47)
VO2max (bajo)							0.193*	0.216**
							(2.39)	(2.65)
VO2max (aceptable)							0.139*	0.0966
							(2.13)	(1.46)
VO2max (bueno)							0.0802	0.0227
							(1.08)	(0.31)
VO2max (excelente)							0.159*	0.0638
							(2.07)	(0.85)
VO2max (superior)							0.208**	0.133
							(2.76)	(1.72)
Razón cintura-estatura							-0.0537*	-0.0898***
							(-2.46)	(-4.22)
Salto a pies juntos (cm)							-0.000921	-0.00149**
							(-1.57)	(-2.66)
Abdominales							0.00435	0.00282
							(1.70)	(1.17)
Flexión de tronco (cm)							0.00458**	0.00283
							(2.92)	(1.90)
IMC							-0.0109	0.0193
							(-0.55)	(0.97)
_cons	1.252***	1.097***	1.294***	1.085***	1.129***	0.960***	0.840**	0.942***
	(6.13)	(5.56)	(5.69)	(5.52)	(4.96)	(4.89)	(3.31)	(3.91)
N	5637	5637	5637	5637	5637	5637	5637	5637
adj. R-sq.	0.129	0.288	0.152	0.289	0.178	0.303	0.184	0.309

t statistics in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

En el tercer conjunto de modelos (**Leng(5)**, **Leng(6)**, **Mat(5)** y **Mat(6)**) se incluyen los hábitos de alimentación auto-reportados por los estudiantes. Tal como esperábamos, se aprecia una relación positiva y estadísticamente significativa entre el puntaje en ambas pruebas y el consumo de lácteos (lenguaje: $b = 0,032$; $0,021$; matemáticas: $b = 0,034$; $0,024$) y verduras (lenguaje: $b = 0,032$; $0,021$; matemáticas: $b = 0,034$; $0,024$) en todos los modelos, resultado que no se repite para el caso del consumo de frutas, que inesperadamente, sólo muestra una asociación negativa y significativa ($b = -0,0141$) con la prueba de lenguaje en el modelo con efectos fijos. De forma interesante, se observa una asociación negativa y estadísticamente significativa entre el consumo semanal de comida rápida y el rendimiento en ambas pruebas (lenguaje: $b = -0,077$; $-0,057$; matemáticas: $b = -0,066$; $-0,047$). En puntaje SIMCE, esto significaría a una disminución de entre 6 a 9 puntos en las pruebas de

matemática y lenguaje al incrementar en 3 días (i.e., 2 *sd* aprox.) el consumo de comida rápida. Como medida de comparación, este efecto es equivalente al de una desviación estándar *menos* en el índice de NSE (≈ 6 a 7 puntos)

En el cuarto grupo de modelos (**Leng(7)**, **Leng(8)**, **Mat(7)** y **Mat(8)**) se introducen las variables relativas a la condición física de los estudiantes, completando las variables de estudio. Todas las variables de hábitos alimentación mantienen la dirección significancia del conjunto previo de modelos. Respecto a la capacidad cardiorrespiratoria (VO_{2max}), los resultados de los modelos sin efectos fijos, muestran que los estudiantes con una capacidad respiratoria *baja* ($b = 0,193$), *aceptable* ($b = 0,139$), *excelente* ($b = 0,159$) y *superior* ($b = 0,208$), obtienen mejores resultados en la prueba de lenguaje en comparación con sus pares con una capacidad *pobre* (la categoría más baja), sin embargo, dichos efectos dejan de ser significativos al introducir efectos fijos, aun cuando mantienen su dirección, dando cuenta que existe una composición no aleatoria de las familias y alumnos por los tipos de establecimientos educacionales, concentrándose en las escuelas más vulnerables aquellos con condiciones cardiorrespiratorias más precarias.

En el caso de matemáticas, se observa que los estudiantes con una capacidad cardiorrespiratoria *superior* obtienen mejores resultados al compararlos con sus pares con una capacidad *pobre* ($b = 0,168; 0,141$), en los modelos sin y con efectos fijos, –aun cuando el resto de las categorías no muestran asociaciones significativas, se encuentran en la dirección esperada-. En principio, estos resultados sugieren una asociación no lineal entre la capacidad cardiorrespiratoria y el rendimiento académico, mostrando una mayor ventaja por parte de los estudiantes con mayor capacidad respiratoria respecto a los con peor condición, asociación positiva más allá de la condición social del establecimiento al cual asiste el estudiante, estos resultados son similares a los de estudios previos y en consonancia con nuestra hipótesis de investigación (Bass et al., 2013; Castelli et al., 2007; Chaddock-Heyman et al., 2015; Esteban-Cornejo et al., 2014; Roberts et al., 2010; Van Dusen et al., 2011; Wittberg et al., 2012). Así, en términos de puntaje SIMCE, contar con el nivel más bajo al más alto de capacidad cardiovascular, respecto de la más precaria, equivaldría a una ganancia de aproximadamente 8 puntos en la prueba de matemáticas.

Por otra parte, la razón cintura-estatura (RCE), nuestra medida de riesgo cardiovascular y composición corporal, muestra una asociación negativa y estadísticamente significativa con ambas pruebas, en ambos modelos, (*lenguaje*: $b = -0,054; -0,099$; *matemáticas*: $b = -0,067; -0,069$), consistente con nuestra hipótesis inicial. En particular, en el caso de la prueba de lenguaje, esto significaría que moverse una desviación estándar en la distribución de RCE equivale a una mejora de 5 puntos del SIMCE, efecto similar al de una desviación estándar del índice de NSE en la misma prueba (≈ 7 puntos). Nuestra medida de fuerza muscular, salto a pies juntos, muestra una asociación negativa y significativa únicamente en el caso de lenguaje para el modelo de efectos fijos ($b = -0,001$), mientras que nuestra medida de resistencia muscular, abdominales, evidencia una asociación positiva y significativa únicamente en el modelo de efectos fijos para el caso de matemáticas ($b = 0,005$). Dado que dichos efectos son muy pequeños y con sentido contrario, son poco informativos del efecto de la capacidad

muscular en el rendimiento del SIMCE, razón para mirar dichos resultados con cautela. Por otro lado, contrario a nuestra hipótesis, la flexión de tronco muestra una asociación positiva y significativa con lenguaje en el modelo sin efectos fijos ($b = 0,005$), y con matemáticas en ambos modelos ($b = 0,006; 0,006$). Por último, el IMC no muestra una asociación significativa en ninguno de los modelos con las pruebas SIMCE.

TABLA 4: Modelos regresión. Asociación entre variables de estudio y puntaje estandarizado (Media=0; DE=1) en la prueba SIMCE de matemáticas. Modelos 2,4,6 y 8 con efectos fijos por escuela.

	Mat(1)	Mat(2)	Mat(3)	Mat(4)	Mat(5)	Mat(6)	Mat(7)	Mat(8)
Sexo (1=hombre)	0.0669*	0.125***	0.0876**	0.123***	0.105***	0.134***	0.147***	0.190***
	(1.98)	(4.89)	(2.70)	(4.82)	(3.38)	(5.41)	(3.65)	(5.47)
Edad (años)	-0.0721***	-0.0635***	-0.0704***	-0.0631***	-0.0650***	-0.0601***	-0.0662***	-0.0619***
	(-4.90)	(-4.84)	(-5.25)	(-4.82)	(-4.84)	(-4.57)	(-4.85)	(-4.63)
Repitencia (1=repitente)	-0.616***	-0.730***	-0.611***	-0.725***	-0.569***	-0.680***	-0.555***	-0.677***
	(-6.35)	(-7.75)	(-7.02)	(-7.66)	(-6.78)	(-7.20)	(-6.46)	(-7.22)
Índice NSE	0.403***	0.141***	0.163***	0.147***	0.139***	0.132***	0.134***	0.128***
	(18.06)	(8.08)	(8.92)	(8.24)	(7.80)	(7.44)	(7.46)	(7.04)
Subvencionado			0.0465		0.0449		0.0404	
			(0.50)		(0.51)		(0.46)	
Privado			0.0774		0.0562		0.0438	
			(0.39)		(0.29)		(0.23)	
Escuela rural (1=rural)			0.163*		0.142		0.122	
			(2.01)		(1.78)		(1.55)	
Matricula total establecimiento			0.0000904		0.0000925		0.0000954	
			(1.72)		(1.76)		(1.83)	
Media del curso de NSE			0.292***	0.130	0.279***	0.143*	0.271***	0.139*
			(5.95)	(1.82)	(6.03)	(2.04)	(5.91)	(2.01)
Media del curso de notas			0.0897***	-0.0140	0.0859***	-0.0158	0.0817***	-0.0157
			(4.09)	(-0.38)	(4.09)	(-0.43)	(3.92)	(-0.43)
Consumo de lácteos					0.0337***	0.0243***	0.0329***	0.0241***
					(5.87)	(4.53)	(5.76)	(4.44)
Consumo de frutas					0.00531	0.00259	0.00411	0.00200
					(0.89)	(0.45)	(0.68)	(0.35)
Consumo de verduras					0.0175**	0.0175***	0.0167**	0.0160**
					(3.06)	(3.52)	(2.97)	(3.24)
Consumo de comida rápida					-0.0662***	-0.0471***	-0.0679***	-0.0482***
					(-8.32)	(-6.80)	(-8.39)	(-6.85)
VO2max (bajo)							0.0489	0.105

							(0.60)	(1.29)
VO2max (aceptable)							0.0829	0.0810
							(1.21)	(1.27)
VO2max (bueno)							0.0801	0.0725
							(1.07)	(1.08)
VO2max (excelente)							0.113	0.104
							(1.39)	(1.41)
VO2max (superior)							0.168*	0.141*
							(2.17)	(1.98)
Razón cintura-estatura							-0.0670**	-0.0693**
							(-2.89)	(-3.29)
Salto a pies juntos (cm)							0.000552	-0.000223
							(0.97)	(-0.50)
Abdominales							0.00340	0.00500*
							(1.26)	(2.24)
Flexión de tronco (cm)							0.00606***	0.00610***
							(3.64)	(4.17)
IMC							0.0173	0.0275
							(0.93)	(1.56)
_cons	1.034***	0.885***	0.888***	0.880***	0.678**	0.720***	0.255	0.378
	(4.96)	(4.87)	(3.87)	(4.86)	(2.94)	(3.86)	(0.90)	(1.67)
<i>N</i>	5637	5637	5637	5637	5637	5637	5637	5637
<i>adj. R-sq</i>	0.177	0.388	0.239	0.388	0.261	0.400	0.269	0.405

t statistics in parentheses

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

6. Discusión

Nuestros resultados contribuyen a un creciente cuerpo de investigación que sugiere la existencia de una asociación significativa entre la condición física, la nutrición y el rendimiento académico (Bass et al., 2013; Bos et al., 2015; Castelli et al., 2007; Chaddock-Heyman et al., 2015; Coe et al., 2013; Dwyer et al., 2001; Esteban-Cornejo et al., 2014; Eveland-Sayers et al., 2009; Feinstein et al., 2008; Johnson et al., 2016; Osendarp et al., 2007; Roberts et al., 2010; Van Dusen et al., 2011; Wiles et al., 2009; Wittberg et al., 2012). En esta dirección, nuestros datos señalan que existiría una asociación estadísticamente significativa entre la condición física y el rendimiento académico, y entre los hábitos alimenticios y el rendimiento académico, aun controlando por un amplio set de variables relativas a las condiciones sociodemográficas de los estudiantes, las características de sus escuelas, y el efecto de sus pares. Este último aspecto, representa una ventaja frente a la mayor parte de la

investigación previa, que en general controla por un conjunto más limitado de variables, por lo que nuestros resultados contribuyen a fortalecer la hipótesis que da fundamento a esta línea de investigación.

Nuestros principales hallazgos sugieren que: (1) el consumo de lácteos y verduras se asocia positivamente con el rendimiento en ambas pruebas ($\approx +1$ a $+2$ puntos SIMCE por 1 s.d.); (2) el consumo de comida rápida se asocia negativamente con el rendimiento en ambas pruebas (≈ -2 a -3 puntos SIMCE por cada día adicional semanal que la familia del niño lo incluye en su dieta alimenticia.); (3) los estudiantes de alta capacidad cardiovascular obtienen un mejor rendimiento en ambas pruebas frente a sus pares con una pobre capacidad cardiovascular ($\approx +7$ puntos SIMCE), resultado particularmente robusto en matemáticas; (4) que los estudiantes con una mayor RCE (i.e., mayor riesgo cardiovascular) obtienen un peor desempeño en ambas pruebas ($\approx +5$ puntos SIMCE por 1 s.d.). Clave para nuestros objetivos, estos resultados se encuentran en sintonía con nuestras principales hipótesis de investigación: primero, que el consumo de alimentos altos en micronutrientes y ácidos omega 3, se encontrarían positivamente asociados con el rendimiento en el SIMCE (exceptuando el caso de las frutas, discutido previamente); segundo, que el consumo de alimentos altos en grasas trans y saturadas se encontrarían negativamente asociados con el SIMCE; y tercero, que la salud y capacidad cardiovascular se encontraría positivamente asociada con el SIMCE. Estos resultados contribuyen a fortalecer la hipótesis de que el consumo de alimentos nutricionalmente saludables, impactaría positivamente en las habilidades cognitivas y de aprendizaje, a través de los mecanismos neurobiológicos antes descritos (Dauncey, 2009; Gómez-Pinilla, 2008; Spencer, 2009). Por otra parte, también respaldan la hipótesis de que la capacidad cardiovascular y el riesgo cardiovascular (medido por el VO_{2max} y la RCE, respectivamente) sería la dimensión más fuerte y consistentemente asociada con el rendimiento académico, posiblemente, debido al rol que tendrían en el buen funcionamiento de los sistemas cerebrales y cognitivos que soportan los procesos de aprendizaje (Åberg et al., 2009; Chaddock et al., 2011; Hillman et al., 2005, 2008).

Contrario a nuestra hipótesis inicial, el consumo de frutas no se vincula a resultados en las pruebas estandarizadas, incluso en una especificación se encuentra negativamente asociado con el rendimiento en el SIMCE de lenguaje. Sin embargo, este resultado es inconsistente entre los distintos modelos estimados, por lo que debe ser interpretado con cautela.

Desde una perspectiva sociodemográfica, nuestros datos se encuentran en línea con investigación previa respecto al vínculo entre los antecedentes sociales y los logros de aprendizaje en la prueba SIMCE (Hsieh & Urquiola, 2006; McEwan & Carnoy, 2000; McEwan et al., 2008; Mizala & Romaguera, 2000; Mizala & Torche, 2012). Así, encontramos que los hombres tienen una ventaja en la prueba de matemáticas, cosa que se revierte en el caso de la prueba de lenguaje, mientras que los resultados de ambas pruebas escalan negativamente con la edad, y positivamente con el nivel socioeconómico. Esta tendencia se repite en el caso del vínculo entre las características de la escuela y el rendimiento en ambas pruebas: una vez que se controla por los antecedentes sociales y el efecto de los pares, la dependencia no tiene relevancia a la hora de determinar los puntajes. Caso

interesante son nuestros resultados respecto al efecto par: el efecto del NSE de los pares tiene un efecto mayor en ambas pruebas que el propio NSE de los estudiantes. Respecto al efecto del rendimiento académico de los pares, los resultados son más inconsistentes, mostrando efectos significativos sólo en algunas estimaciones.

Una de las limitaciones de nuestra investigación es la ausencia de controles respecto a ciertos atributos psicológicos de las familias y los estudiantes, que son relevantes en esta materia, como la motivación, auto-estima y estructura de personalidad de los estudiantes (Mark S Tremblay, Inman, & Willms, 2000). Este tipo de atributos, hipotéticamente, pueden impactar positivamente el rendimiento académico, las pautas de alimentación, la práctica deportiva y el logro de una adecuada condición física, por lo que es una variable omitida relevante para el cálculo de los estimadores y para la pretensión de hacer inferencias causales a partir de estos resultados. Investigación previa ya ha señalado –y en general, adolece de- estas falencias (Bass et al., 2013; Castelli et al., 2007; Chaddock-Heyman et al., 2015; Coe et al., 2013; Dwyer et al., 2001; Esteban-Cornejo et al., 2014; Eveland-Sayers et al., 2009; Roberts et al., 2010; Van Dusen et al., 2011; Wittberg et al., 2012), por lo que un desafío importante para futuras investigaciones es abordar estas interrogantes. Una segunda limitación la constituye la ausencia de mediciones sobre el perfil sociocultural del hogar de los estudiantes, que también podrían impactar en los resultados del SIMCE. Esta ausencia se debe a la limitación de tal información las bases de datos disponibles, por lo que queda como un desafío para futuras investigaciones.

Por otra parte, debido a la ausencia de datos en varias de las variables de estudio, enfrentamos una importante disminución de la muestra, lo que potencialmente podría afectar las estimaciones. Sin embargo, es importante notar que nuestra muestra sigue siendo de gran magnitud en relación a la mayoría de los estudios en el campo. Finalmente, hay que notar que nuestras mediciones de las variables de interés son auto-reportadas (hábitos de alimentación) e indirectas (capacidad cardiovascular), de mucha menor precisión que las de estudios controlados de laboratorio, y por ende, sólo un indicador *grueso* de dichas variables. Desafíos para futuras investigaciones son, por una parte, introducir mediciones más precisas de hábitos alimenticios, por ejemplo, con pautas detalladas que permitan registrar la ingesta alimentaria de los estudiantes por periodos de tiempo más prolongados; y por otra, tecnología que permita determinar con precisión la capacidad cardiovascular y las aptitudes físicas de los estudiantes, tales como el test sub-máximo en cicloergómetro, entre otros.

Un tema especialmente sensible a discutir a partir de nuestro estudio son las implicancias de política pública, en particular, con miras a enfrentar los desafíos en educación y salud de nuestra población infantil y adolescente. Nuestra perspectiva es que, en conjunto, nuestros hallazgos ponen en el acento en la importancia de la promoción de *hábitos de vida saludable* (i.e., nutrición y actividad física), los cuáles no sólo contribuirían a la mejora de la salud en el corto y largo plazo, sino que además pueden contribuir a la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje, idea respaldada por una creciente literatura en la materia.

En este contexto, cabe pensar en un cambio profundo de la visión del rol que juegan los profesores y clases de educación física en nuestro sistema escolar, quienes típicamente han sido vistos como la *quintaescencia*

de las actividades que *no aportan* al desarrollo académico de los estudiantes. Así, no sólo cabría cambiar la mirada respecto a su rol, sino que además, pensar en ampliar y fortalecer su papel como agentes activos en la construcción de hábitos de vida saludable, jugando el rol de aliado de los procesos de aprendizaje del resto del equipo escolar. En esta línea, cabe destacar que en el sistema escolar chileno se cuenta con apenas 2 horas pedagógicas de Educación Física a la semana, en condiciones que la OMS recomienda al menos 1 hora diaria de actividad física intensa en niños de entre 5 y 17 años (World Health Organization, 2010), lo que evidencia un importante espacio para expandir el protagonismo de esta asignatura y actividades extracurriculares vinculadas al deporte. Asimismo, programas como el “EDI” (Escuelas Deportivas Integrales) recientemente implementado por el Ministerio del Deporte en todos los niveles del sistema escolar (i.e., niños de 2 a 14 años) apuntan en la dirección correcta, contando con un potencial de impacto significativo en la mejora de la salud física, mental y logros de aprendizaje de los niños. Caso similar es el de los “Kioscos Saludables”, iniciativa del Ministerio de Salud que podría tener un efecto positivo en la dirección antes mencionada, aun cuando es importante examinar las condiciones de contexto que eventualmente podrían mermar su efectividad (v.gr., que los niños traigan colaciones poco saludables directamente desde sus hogares u obtenidos en los alrededores de los establecimientos educacionales). Muy importante resulta, además, el rol de la JUNAEB y el Ministerio de Educación a través del programa “PAE” (Programa de Alimentación Escolar), quienes tienen a cargo la responsabilidad de proveer alimentos para los niños de menos recursos en los establecimientos públicos del país. Evaluaciones rigurosas de dichas iniciativas pueden aportar importantes lecciones con miras a expandir, limitar o modificar programas de estas características. Adicionalmente, el examen de la experiencia internacional es una herramienta fundamental para poner en perspectiva nuestros esfuerzos en la materia, además de obtener lecciones de países con bajos índices de obesidad y de problemas asociados a la malnutrición como el caso de Japón o Corea del Sur. En suma, si bien nuestros resultados apoyan ésta y otras ideas similares de intervención educativa y nutricional, es fundamental mirarlos con precaución en razón de las limitaciones antes señaladas y lo incipiente de su carácter

Para hacer recomendaciones de intervención de política pública es fundamental ampliar y mejorar el cuerpo de evidencia científica en este campo, del cual este estudio es sólo una pieza incipiente, que se suma a la investigación previa, abriendo nuevas líneas e interrogantes.

En síntesis, nuestros hallazgos arrojan nuevas luces respecto a la asociación entre condición física, nutrición y rendimiento académico, ámbito de investigación relativamente inexplorado en el contexto de Chile y Latinoamérica. En líneas generales, nuestros resultados dan apoyo a la hipótesis de que una nutrición adecuada y una condición física saludable contribuirían positivamente a los logros de aprendizaje, aun luego de controlar por un amplio conjunto de co-variables a nivel de la escuela, de los pares y de antecedentes sociodemográficos. Así, nuestros resultados aportan información valiosa en relación a las discusiones y desafíos actuales en política de salud y educacional, sugiriendo que la mejora de la condición física y de la nutrición de los estudiantes, podría aportar a combatir los problemas de sobrepeso y obesidad infantil, y simultáneamente, contribuir al constante reto

de mejorar los logros de aprendizaje en nuestro sistema educacional. Futuras investigaciones pueden profundizar en esta materia, a través de diseños longitudinales y experimentales que ayuden a corroborar, o bien, desafiar los hallazgos de nuestro estudio.

Agradecimientos

Agradecemos a los datos facilitados por la Agencia de la Calidad de la Educación del Ministerio de Chile, que ha hecho posible esta investigación, y al Proyecto Basal FB0003 del Programa de Investigación Asociativa de CONICYT. Finalmente, agradecemos al financiamiento de los estudios de magister, contexto de desarrollo de esta tesis, por parte de CONICYT (CONICYT-PCHA/Magíster Nacional/2015).

7. Referencias

- Åberg, M. A. I., Pedersen, N. L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., ... Kuhn, H. G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(49), 20906–20911.
- Adkins, D. L., Boychuk, J., Remple, M. S., & Kleim, J. A. (2006). Motor training induces experience-specific patterns of plasticity across motor cortex and spinal cord. *Journal of Applied Physiology*, *101*(6), 1776–1782.
- An, L., Zhang, Y. Z., Yu, N. J., Liu, X. M., Zhao, N., Yuan, L., ... Li, Y. F. (2008). The total flavonoids extracted from Xiaobuxin-Tang up-regulate the decreased hippocampal neurogenesis and neurotrophic molecules expression in chronically stressed rats. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *32*(6), 1484–1490. <http://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2008.05.005>
- Arnaiz, P., Acevedo, M., Díaz, C., Bancalari, R., Barja, S., Aglony, M., ... García, H. (2010). Razón cintura estatura como predictor de riesgo cardiometabólico en niños y adolescentes. *Revista Chilena de Cardiología*, *29*(3), 281–288.
- Arnaiz, P., Marín, A., Pino, F., Barja, S., Aglony, M., Navarrete, C., & Acevedo, M. (2010). Índice cintura estatura y agregación de componentes cardiometabólicos en niños y adolescentes de Santiago. *Revista Médica de Chile*, *138*(11), 1378–1385.
- Bass, R. W., Brown, D. D., Laurson, K. R., & Coleman, M. M. (2013). Physical fitness and academic performance in middle school students. *Acta Paediatrica*, *102*(8), 832–837.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2011). Relations between executive function and academic achievement from ages 5 to 17 in a large, representative national sample. *Learning and Individual Differences*, *21*(4), 327–336.
- Bird, C. M., & Burgess, N. (2008). The hippocampus and memory: insights from spatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, *9*(3), 182–194.
- Bos, D. J., Oranje, B., Veerhoek, E. S., Van Diepen, R. M., Weusten, J. M., Demmelmair, H., ... Durston, S. (2015). Reduced Symptoms of Inattention after Dietary Omega-3 Fatty Acid Supplementation in Boys with and without Attention Deficit/Hyperactivity Disorder. *Neuropsychopharmacology: Official Publication of the American College of Neuropsychopharmacology*, *40*(10), 2298–306. <http://doi.org/10.1038/npp.2015.73>
- Brew, B., Toelle, B., Webb, K., Almqvist, C., & Marks, G. (2015). Omega-3 supplementation during the first 5 years of life and later academic performance: a randomised controlled trial. *European Journal Of Clinical Nutrition*, *69*(4), 419–24. <http://doi.org/10.1038/ejcn.2014.155>
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of “hot” and “cool” executive function to children’s academic achievement, learning-related behaviors, and engagement

- in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, 24(3), 337–349.
- Buck, S. M., Hillman, C. H., & Castelli, D. M. (2008). The relation of aerobic fitness to stroop task performance in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(1), 166.
- Burgess, J. R., Stevens, L., Zhang, W., & Peck, L. (2000). Long-chain polyunsaturated fatty acids in children with attention- deficit hyperactivity disorder. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(1 SUPPL.), 327S–330S. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0033957954&partnerID=40&md5=3b19eddee253d15162e55ed9bf8991a4>
- Burkhalter, T. M., & Hillman, C. H. (2011). A narrative review of physical activity, nutrition, and obesity to cognition and scholastic performance across the human lifespan. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2(2), 201S–206S.
- Burrows, R., Correa, P., Orellana, Y., Almagiá, A., Lizana, P., & Ivanovic, D. (2014). Scheduled Physical Activity is Associated With Better Academic Performance in Chilean School-Age Children. *Journal of Physical Activity & Health*, 11(8), 1600–1606.
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1), 241–257.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third-and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(2), 239.
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Kienzler, C., King, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2015). The Role of Aerobic Fitness in Cortical Thickness and Mathematics Achievement in Preadolescent Children. *PLoS One*, 10(8), e0134115.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., ... Hillman, C. H. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 172–183.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., ... Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology*, 89(1), 260–268.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2011). A review of the relation of aerobic fitness and physical activity to brain structure and function in children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(6), 975–985.
- Chomitz, V. R., Slining, M. M., McGowan, R. J., Mitchell, S. E., Dawson, G. F., & Hacker, K. A. (2009). Is there a relationship between physical fitness and academic achievement? Positive results from public school children in the northeastern United States. *Journal of School Health*, 79(1), 30–37.

- Coe, D. P., Peterson, T., Blair, C., Schutten, M. C., & Peddie, H. (2013). Physical fitness, academic achievement, and socioeconomic status in school-aged youth. *Journal of School Health, 83*(7), 500–507.
- Correa-Burrows, P., Burrows, R., Blanco, E., Reyes, M., & Gahagan, S. (2016). Nutritional quality of diet and academic performance in Chilean students. *Bulletin of the World Health Organization, 94*(3), 185–92. <http://doi.org/10.2471/BLT.15.161315>
- Correa-Burrows, P., Burrows, R., Ibaceta, C., Orellana, Y., & Ivanovic, D. (2014). Physically active Chilean school kids perform better in language and mathematics. *Health Promotion International.* <http://doi.org/10.1093/heapro/dau010>
- Correa-Burrows, P., Burrows, R., Orellana, Y., & Ivanovic, D. (2014a). Achievement in mathematics and language is linked to regular physical activity: a population study in Chilean youth. *Journal of Sports Sciences, 32*(17), 1631–8. <http://doi.org/10.1080/02640414.2014.910606>
- Correa-Burrows, P., Burrows, R., Orellana, Y., & Ivanovic, D. (2014b). The relationship between unhealthy snacking at school and academic outcomes: a population study in Chilean schoolchildren. *Public Health Nutrition, 18*(11), 1–9. <http://doi.org/10.1017/S1368980014002602>
- Dauncey, M. J. (2009). New insights into nutrition and cognitive neuroscience. *The Proceedings of the Nutrition Society, 68*(4), 408–415. <http://doi.org/10.1017/S0029665109990188>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review Psychology, 64*, 135–168. <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.08.021.Secreted>
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science, 333*(6045), 959–964.
- Duckworth, A. L., & Carlson, S. M. (2013). Self-regulation and school success. *Self-Regulation and Autonomy: Social and Developmental Dimensions of Human Conduct, 40*, 208.
- Dwyer, T., Sallis, J. F., Blizzard, L., Lazarus, R., & Dean, K. (2001). Relation of academic performance to physical activity and fitness in children. *Pediatric Exercise Science, 13*(3), 225–237.
- Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Chaddock, L., Hu, L., Morris, K. S., ... Kramer, A. F. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus, 19*(10), 1030–1039.
- Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A.-M., Nordborg, C., Peterson, D. A., & Gage, F. H. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine, 4*(11), 1313–1317.
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martinez-Gomez, D., del-Campo, J., González-Galo, A., Padilla-Moledo, C., ... group, U. P. & D. study. (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics, 165*(2), 306–312.
- Eveland-Sayers, B. M., Farley, R. S., Fuller, D. K., Morgan, D. W., & Caputo, J. L. (2009). Physical fitness and academic achievement in elementary school children. *Journal of Physical Activity & Health, 6*(1), 99.

- Feinstein, L., Sabates, R., Sorhaindo, a, Rogers, I., Herrick, D., Northstone, K., & Emmett, P. (2008). Dietary patterns related to attainment in school: the importance of early eating patterns. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 62(February 2009), 734–739. <http://doi.org/10.1136/jech.2007.068213>
- Ferris, L. T., Williams, J. S., & Shen, C.-L. (2007). The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(4), 728–734.
- Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Castellanos, F. X., Liu, H., Zijdenbos, A., ... Rapoport, J. L. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2(10), 861–863.
- Gómez-Pinilla, F. (2008). Brain foods: the effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, 9, 568–578. <http://doi.org/10.1038/nrn2421>
- Gould, E., Beylin, A., Tanapat, P., Reeves, A., & Shors, T. J. (1999). Learning enhances adult neurogenesis in the hippocampal formation. *Nature Neuroscience*, 2(3), 260–265.
- Greenwood, C. E., & Winocur, G. (1996). Cognitive impairment in rats fed high-fat diets: a specific effect of saturated fatty-acid intake. *Behavioral Neuroscience*, 110(July 1996), 451–459. <http://doi.org/10.1037/0735-7044.110.3.451>
- Grissom, J. B. (2005). Physical fitness and academic achievement. *Journal of Exercise Physiology Online*, 8(1), 11–25.
- Hillman, C. H., Castelli, D. M., & Buck, S. M. (2005). Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1967.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65.
- Hsieh, C.-T., & Urquiola, M. (2006). The effects of generalized school choice on achievement and stratification: Evidence from Chile's voucher program. *Journal of Public Economics*, 90(8), 1477–1503.
- Jarrard, L. E. (1993). On the role of the hippocampus in learning and memory in the rat. *Behavioral and Neural Biology*, 60(1), 9–26.
- Johnson, M., Fransson, G., Östlund, S., Areskoug, B., & Gillberg, C. (2016). Omega 3/6 fatty acids for reading in children: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial in 9-year-old mainstream schoolchildren in Sweden. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 1, 83–93. <http://doi.org/10.1111/jcpp.12614>
- Kempermann, G., & Gage, F. H. (1999). Experience-dependent regulation of adult hippocampal neurogenesis: Effects of long-term stimulation and stimulus withdrawal. *Hippocampus*, 9(3), 321–332.
- Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of Sport and Exercise 6th Edition*. Human kinetics.
- Khan, N. A., & Hillman, C. H. (2014). The Relation of Childhood Physical Activity and Aerobic Fitness to Brain

- Function and Cognition: A Review. *Pediatric Exercise Science*, 26, 138–146.
- Kleim, J. A., Cooper, N. R., & VandenBerg, P. M. (2002). Exercise induces angiogenesis but does not alter movement representations within rat motor cortex. *Brain Research*, 934(1), 1–6.
- Kolodner, J. L., & Riesbeck, C. K. (2014). *Experience, memory, and reasoning*. Psychology Press.
- Krikorian, R., Shidler, M. D., Nash, T. A., Kalt, W., Vinqvist-Tymchuk, M. R., Shukitt-Hale, B., & Joseph, J. A. (2010). Blueberry supplementation improves memory in older adults. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3996–4000. <http://doi.org/10.1021/jf9029332>
- Lam, L. F., & Lawlis, T. R. (2016). Feeding the brain - The effects of micronutrient interventions on cognitive performance among school-aged children: A systematic review of randomized controlled trials. *Clinical Nutrition*. <http://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.06.013>
- Lee, S., Kim, D. H., Lee, D. H., Jeon, S. J., Lee, C. H., Son, K. H., ... Ryu, J. H. (2010). Oroxylin A, a flavonoid, stimulates adult neurogenesis in the hippocampal dentate gyrus region of mice. *Neurochemical Research*, 35(11), 1725–1732. <http://doi.org/10.1007/s11064-010-0235-y>
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93–101.
- Lenroot, R. K., & Giedd, J. N. (2006). Brain development in children and adolescents: insights from anatomical magnetic resonance imaging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(6), 718–729.
- Lindqvist, A., Mohapel, P., Bouter, B., Frielingsdorf, H., Pizzo, D., Brundin, P., & Erlanson-Albertsson, C. (2006). High-fat diet impairs hippocampal neurogenesis in male rats. *European Journal of Neurology*, 13(12), 1385–1388. <http://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2006.01500.x>
- London, R. A., & Castrechini, S. (2011). A longitudinal examination of the link between youth physical fitness and academic achievement. *Journal of School Health*, 81(7), 400–408.
- McEwan, P. J., & Carnoy, M. (2000). The effectiveness and efficiency of private schools in Chile's voucher system. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 22(3), 213–239.
- McEwan, P. J., Urquiola, M., & Vegas, E. (2008). School choice, stratification, and information on school performance: Lessons from Chile. *Economia*, 8(2), 1–27.
- Meeusen, R. (2014). Exercise, Nutrition and the Brain. *Sport Medicine*, (Suppl), S47-56. <http://doi.org/10.1007/s40279-014-0150-5>
- MINSAL. (2014). *Indicadores Básicos de Salud Chile 2014*.
- Mizala, A., & Romaguera, P. (2000). *Determinación de factores explicativos de los resultados escolares en educación media en Chile*.
- Mizala, A., & Torche, F. (2012). Bringing the schools back in: the stratification of educational achievement in the Chilean voucher system. *International Journal of Educational Development*, 32(1), 132–144.
- Mokdad, A. H., Ford, E. S., Bowman, B. A., Dietz, W. H., Vinicor, F., Bales, V. S., & Marks, J. S. (2003).

- Prevalence of obesity, diabetes, and obesity-related health risk factors, 2001. *Jama*, 289(1), 76–79.
- Neeper, S. A., Gómez-Pinilla, F., Choi, J., & Cotman, C. W. (1996). Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*, 726(1), 49–56.
- Nishtar, S., Gluckman, P., & Armstrong, T. (2016). Ending childhood obesity: a time for action. *The Lancet*, 387(10021), 825–827.
- Osendarp, S., Baghurst, K., Bryan, J., Calvaresi, E., Hughes, D., Mahdin, H., ... Wilson, C. (2007). Effect of a 12-mo micronutrient intervention on learning and memory in well-nourished and marginally nourished school-aged children: 2 parallel, randomized, placebo-controlled studies in Australia and Indonesia. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1082–1093. Retrieved from <http://ukpmc.ac.uk/abstract/MED/17921387>
- Richardson, A. (2005). The Oxford-Durham Study: A Randomized, Controlled Trial of Dietary Supplementation With Fatty Acids in Children With Developmental Coordination Disorder. *Pediatrics*, 115(5)(5), 1360–1366. <http://doi.org/10.1542/peds.2004-2164>
- Roberts, C. K., Freed, B., & McCarthy, W. J. (2010). Low aerobic fitness and obesity are associated with lower standardized test scores in children. *The Journal of Pediatrics*, 156(5), 711–718.
- Spencer, J. P. E. (2009). Flavonoids and brain health: Multiple effects underpinned by common mechanisms. *Genes and Nutrition*, 4(4), 243–250. <http://doi.org/10.1007/s12263-009-0136-3>
- Squire, L. R. (1992). Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, 99(2), 195.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745–759.
- Tremblay, M. S., Colley, R. C., Saunders, T. J., Healy, G. N., & Owen, N. (2010). Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35(6), 725–740.
- Tremblay, M. S., Inman, J. W., & Willms, J. D. (2000). The relationship between physical activity, self-esteem, and academic achievement in 12-year-old children. *Pediatric Exercise Science*, 12(3), 312–323.
- Van Dusen, D. P., Kelder, S. H., Kohl, H. W., Ranjit, N., & Perry, C. L. (2011). Associations of Physical Fitness and Academic Performance Among Schoolchildren*. *Journal of School Health*, 81(12), 733–740.
- van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32(5), 283–290. <http://doi.org/10.1016/j.tins.2008.12.007>
- Van Praag, H. (2008). Neurogenesis and exercise: past and future directions. *Neuromolecular Medicine*, 10(2), 128–140.
- Visscher, T. L. S., & Seidell, J. C. (2001). The public health impact of obesity. *Annual Review of Public Health*, 22(1), 355–375.

- WHO. (2016). *Report of the Commission on Ending Childhood Obesity*. World Health Organization. Geneva.
- Wiles, N. J., Northstone, K., Emmett, P., & Lewis, G. (2009). “Junk food” diet and childhood behavioural problems: results from the ALSPAC cohort. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(4), 491–498. <http://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602967>
- Williams, C. M., El Mohsen, M. A., Vauzour, D., Rendeiro, C., Butler, L. T., Ellis, J. A., ... Spencer, J. P. E. (2008). Blueberry-induced changes in spatial working memory correlate with changes in hippocampal CREB phosphorylation and brain-derived neurotrophic factor (BDNF) levels. *Free Radical Biology and Medicine*, 45(3), 295–305. <http://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2008.04.008>
- Winocur, G., & Greenwood, C. E. (2005). Studies of the effects of high fat diets on cognitive function in a rat model. *Neurobiology of Aging*, 26(SUPPL.). <http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.09.003>
- Wirth, S., Yanike, M., Frank, L. M., Smith, A. C., Brown, E. N., & Suzuki, W. A. (2003). Single neurons in the monkey hippocampus and learning of new associations. *Science*, 300(5625), 1578–1581.
- Wittberg, R. A., Northrup, K. L., & Cottrell, L. A. (2012). Children’s aerobic fitness and academic achievement: a longitudinal examination of students during their fifth and seventh grade years. *American Journal of Public Health*, 102(12), 2303–2307.
- World Health Organization. (2010). *Recomendaciones Mundiales sobre Actividad Física para la Salud*. Geneva: WHO Library Cataloguing-in-Publication, (Completo), 1–58. http://doi.org/978_92_4_359997_7
- Wu, A., Molteni, R., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2003). A saturated-fat diet aggravates the outcome of traumatic brain injury on hippocampal plasticity and cognitive function by reducing brain-derived neurotrophic factor. *Neuroscience*, 119(2), 365–375. [http://doi.org/10.1016/S0306-4522\(03\)00154-4](http://doi.org/10.1016/S0306-4522(03)00154-4)
- Zahedi, H., Kelishadi, R., Heshmat, R., Motlagh, M. E., Ranjbar, S. H., Ardalan, G., ... Qorbani, M. (2014). Association between junk food consumption and mental health in a national sample of Iranian children and adolescents: The CASPIAN-IV study. *Nutrition*, 30(11–12), 1391–1397. <http://doi.org/10.1016/j.nut.2014.04.014>

8. Anexo

TABLA 5: Descripción de variables y comparación de medias para muestra incluida y excluida del estudio

	Muestra con datos completos (incluido)			Muestra con datos incompletos (excluidos)			t	valor p
	n	media	de**	n	media	de**		
VARIABLES SOCIODEMGRÁFICAS INDIVIDUALES Y FAMILIARES								
SIMCE Matemáticas	5637	243,68*	52,68	3017	236,03	54,43	-5,94	0,00
SIMCE Lenguaje	5637	266,19*	52,68	3017	259,87	47,59	-6,37	0,00
Sexo (1=hombre)	5637	0,54*	-	3855	0,52	-	-1,99	0,02
Edad (años)	5637	13,94*	0,87	3855	14,16	0,97	11,39	0,00
Repitencia (1=repitente)	5637	0,02*	-	3472	0,02	-	2,09	0,02
NSE	5637	0,208*	1,444	1598	-0,07	1,43	-6,83	0,00
Nutricionales y Físicas Individuales								
Consumo de lácteos (días por semana)	5637	3,98*	2,45	2555	3,88	2,46	-1,80	0,04
Consumo de frutas (días por semana)	5637	3,64	2,27	2525	3,58	2,23	-1,03	0,15
Consumo de verduras (días por semana)	5637	4,56*	2,32	2481	4,33	2,34	-4,07	0,00
Consumo de comida rápida (días por semana)	5637	1,59*	1,67	2546	1,72	1,78	3,23	0,00
VO2max (pobre)	5637	0,033	0,179	3677	0,04	0,19	1,28	0,10
VO2max (bajo)	5637	0,039*	0,194	3677	0,05	0,23	3,46	0,00
VO2max (aceptable)	5637	0,242	0,428	3677	0,25	0,43	0,76	0,22
VO2max (bueno)	5637	0,281*	0,449	3677	0,26	0,44	-2,06	0,02
VO2max (excelente)	5637	0,125	0,33	3677	0,12	0,32	-0,06	0,20
VO2max (superior)	5637	0,277	0,447	3677	0,28	0,45	-0,20	0,42
Razón cintura-estatura	5637	0,448	0,055	3855	0,45	0,05	-0,86	0,19
Salto a pies juntos (cm)	5637	144,82	31,5	3662	144,30	31,61	-0,78	0,22
Abdominales	5637	22,04*	5,2	3479	21,77	5,44	-2,39	0,01
Flexión de tronco (cm)	5637	27,92*	8,6	3667	27,50	8,88	-2,28	0,01
IMC	5637	22,15	3,492	3855	22,09	3,46	-0,83	0,20
VARIABLES DEL CURSO								
Media de NSE del curso del estudiante	542	0,13*	0,864	542	-0,03	0,82	-6,50	0,00
Media de notas del curso del estudiante	542	5,37*	0,484	542	5,30	0,54	-6,64	0,00
VARIABLES DEL ESTABLECIMIENTO								
Establecimiento Público	365	0,33*	-	365	0,36	-	3,35	0,00
Establecimiento Subvencionado	365	0,57*	-	365	0,55	-	-2,40	0,01
Establecimiento Privado	365	0,1	-	365	0,09	-	-1,33	0,09
Escuela rural (1=rural)	365	0,07	-	365	0,07	-	0,47	0,32
Matricula total establecimiento	365	721,38*	526,8	365	686,67	532,16	-3,14	0,00

*Diferencias estadísticamente significativas

**La desviación estándar (se) no es reportada para variables binarias

El patrón general de los datos da cuenta de que los casos excluidos muestran un perfil sociodemográfico y académico levemente más vulnerable que el de la muestra incluida en el estudio. Los casos excluidos tienen un menor puntaje SIMCE, un menor NSE, más edad promedio y con más hombres en la muestra. En cuanto a los hábitos de alimentación, los casos excluidos consumirían menos verduras y más comida chatarra. Asimismo, los casos incluidos muestran un número marginalmente mayor de abdominales y de flexibilidad. Además, los cursos de los casos incluidos tienen una leve ventaja de notas y NSE. Finalmente, en los casos excluidos hay más presencia de colegios públicos y menos de subvencionados. Resumiendo, existen, en varios casos, diferencias significativas a tener en consideración en el análisis de resultados, las que sin embargo, tienden a ser diferencias muy menores en términos de magnitud en la mayoría de los casos.