

Impacto psicológico del ruido ambiental en escuelas: Estudio comparativo del efecto diferencial del ruido

Psychological impact of environmental noise in schools: A comparative study of the differential effect of noise

Cesáreo Estrada-Rodríguez
Facultad de Psicología, UNAM

Ignacio Méndez-Ramírez
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas
y en Sistemas, UNAM

El estudio se sustentó en la evidencia empírica sobre los efectos del ruido, su objetivo fue probar el impacto adverso del ruido sobre múltiples atributos psicológicos de los escolares, evaluando tres escuelas expuestas diferentemente al ruido. Los datos del estudio se probaron estadísticamente con un modelo estimado por el sistema de ecuaciones estructurales. Los participantes fueron 521 alumnos de educación primaria. el 49.3% eran mujeres y el 50.7% hombres, la edad promedio fue de 10 años con un intervalo de 8 a 13. En las tres escuelas se registraron las diferentes intensidades del ruido por medio de un sonómetro, en la escuela de menor ruido se midió un promedio de 53 decibeles y la de mayor ruido registró en promedio 62 dBA. Para conocer la relación simultánea, se utilizó el modelo MIMIC para la comparación de las escuelas. El modelo probado ajusta de manera aceptable con los datos observados, tal como lo indican las pruebas de la calidad del ajuste: $\chi^2 = 29.34$ $p = 0.01$ CFI = .99 RMSEA = 0.05. La relevancia del estudio es la integración multivariada de las evidencias que se sintetizaron en el modelo probado con ecuaciones estructurales, porque explica cómo el ruido en las escuelas impacta negativamente a los procesos psicológico y educativo de los estudiantes.

Palabras clave: ruido, escuelas, efectos psicológicos, modelamiento de ecuaciones estructurales.

The importance of conducting psychological research on air pollution arises from its causes and its possible effects. On the one hand pollutants are generated by anthropogenic activities and, on the other, they have severe impacts on people's health. The aim of this research, completed in 2011, was to investigate people's perception of air pollution, its causes, consequences and perceived control in residents living in Mexico City Metropolitan Area (MCMA). The inhabitants of the MCMA identified air pollution as a public health problem and they are aware of the effects it can have on their quality of life. As for accountability, although lay people acknowledge their own contribution to air pollution due to car use, they make the government and scientists responsible for the air pollution control. These research findings are helpful to improve the effectiveness of communication campaigns and to strengthen governmental prevention and health care programs.

Keywords: noise, schools, psychological effects, structural equations modeling.

En el entorno educativo se ha estudiado el impacto negativo que tiene el ruido ambiental en el aprovechamiento de los escolares desde hace más de cuarenta años. Los estudios han sido realizados con diferentes perspectivas conceptuales y metodo-

lógicas, involucrándose diversas disciplinas interesadas en el proceso de la educación. Este esfuerzo de investigación ha ido avanzado en paralelo al adelanto tecnológico de la instrumentación acústica, y en congruencia con la preocupación mundial por el cambio ambiental global; donde la contaminación por ruido es el elemento ambiental que más afecta a la calidad de vida de la población, como lo documenta la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004a).

Con base en la literatura especializada, se ha observado que una parte de la investigación de los efectos del ruido sobre los niños se refiere al daño en el sistema auditivo, no obstante, Evans y Lepore (1993) documentaron otros tipos de efectos

Dirección para correspondencia:
Dr. Cesáreo Estrada Rodríguez.
cer@unam.mx
UNAM, Facultad de Psicología,
Edificio "D", cubículo 202
Delegación Coyoacán
C.P. 04510, D.F.
México.

que no perjudican directamente al sistema auditivo: los efectos psicofisiológicos, los efectos en la motivación y los efectos cognoscitivos.

En relación a los efectos fisiológicos se ha observado que niveles elevados de presión arterial en niños están asociados a vivir en viviendas o asistir a escuelas cercanas a fuentes de ruido, como aeropuertos, vialidades con tráfico vehicular y cerca de la circulación de trenes (Bronzaft & McCarthy, 1975; Cohen, Glass & Singer, 1973). Sobre los efectos motivacionales, los datos sugieren que la exposición al ruido incontrolable puede hacer a los niños más vulnerables al desamparo aprendido, en otras palabras, el individuo aprende que los resultados del comportamiento son independientes de sus propias acciones. Adicionalmente, los profesores de escuelas ruidosas reportan mayor dificultad en motivar a los niños en su trabajo escolar (Cohen, Evans, Krantz & Stokols, 1980).

Respecto a los efectos cognoscitivos, se ha explorado la memoria, la atención y el logro académico, es decir, si el individuo tiene que prestar atención especial debido a la dificultad de la tarea, el ruido puede obstruir la memoria (Bronzaft & McCarthy, 1975). También, se sugiere que los niños expuestos al ruido crónico pueden sufrir déficit en la atención (Suter, 1991). Igualmente, la investigación indica que el ruido crónico tiene un efecto negativo sobre las habilidades de lectura de los niños (Bronzaft, 1981; Evans & Maxwell, 1997). Posteriormente, Evans y Stecker (2004) documentan que los estresores ambientales, como el ruido, tanto en una exposición aguda en estudios de laboratorio, como en una exposición crónica en estudios de campo, disminuyen la motivación hacia la tarea y pueden inducir sentimientos de incapacidad en personas vulnerables: como son mujeres, individuos con depresión, o personas con creencias más débiles sobre su control personal y ambiental.

En la línea de investigación del ruido en las escuelas, estudios realizados en Inglaterra por las investigadoras Shield y Dockrell (2004) proveen datos objetivos del ruido ambiental en el exterior y en el interior de escuelas urbanas, buscando saber qué fuentes de ruido externo influyen en los niveles de ruido al interior de las escuelas y los salones.

Para esto, los niveles de ruido fueron medidos en el exterior de 142 escuelas y en el interior de 16 escuelas, las mediciones se hicieron en aproximadamente 200 espacios diversos, incluyendo salones vacíos y ocupados, corredores y auditorios. Las especialistas inglesas reportan que el nivel promedio ($L_{Aeq,5min}$) registrado fue de aproximadamente 57 decibeles (dBA) durante un período de 5 minutos en el día normal de clases; la fuente de ruido predominante en el exterior de las escuelas fue el tráfico vehicular, particularmente de autos en el 86% de las escuelas; la fuente de ruido al interior del salón fue generalmente por el ruido de los niños, donde, dependiendo de la actividad particular que estén realizando, se encontraron un rango de 20 dBA entre la actividad silenciosa y la ruidosa.

Las autoras concluyen que los niños de las escuelas londinenses son expuestos a un nivel de ruido promedio de 72 decibeles (dBAeq); los niveles de ruido promedio en los salones vacíos fue de 47 dBAeq; las fuentes subjetivas del ruido exter-

no tuvieron un efecto mínimo sobre el ruido ambiental del interior de los salones, los análisis de correlación confirman que esto sucede en la mayoría de las actividades del salón, pero, en actividades de lectura en silencio o haciendo una prueba, los niveles de ruido en el salón están cercanamente relacionados con el ruido exterior, por esta razón, los niños pueden ser distraídos por este ruido y afectar su concentración cuando trabajan en condiciones silenciosas.

En otro estudio en la misma línea, Dockrell y Shield (2004) consideran que los niños de escuelas primarias son particularmente vulnerables a las fuentes extrañas de ruido porque, a esa edad, requieren una mayor magnitud de la razón de señal/ruido que los adultos para lograr una precisión en el entendimiento del habla. Sin embargo, en los salones de clase se tiende a una pobre acústica, los niños son expuestos a altos niveles de ruido y a largos tiempos de reverberación, en este recinto acústico, muchas palabras serán distorsionadas y difícilmente comprendidas por la baja calidad en la recepción de la voz de los maestros.

A pesar del riesgo, aún es poco el conocimiento que se tiene sobre la percepción que tienen los niños sobre los aspectos acústicos de su entorno escolar. De acuerdo a las autoras, los primeros estudios sobre el ruido en las escuelas indicaban que los niños eran expuestos a altos niveles por encima de 70 decibeles, en los estudios recientes se ha confirmado estos datos sobre todo en las escuelas cercanas a aeropuertos y vialidades. Igualmente informan que, la respuesta subjetiva más difundida y mejor documentada es la molestia, sin embargo, aún no ha sido establecido si los niños están molestos por el ruido en el salón y si los grados de molestia están relacionados con los niveles de ruido registrados.

Por esta razón, Dockrell y Shield (2004) diseñaron un cuestionario basado en entrevistas a maestros y alumnos con un lenguaje entendible para los niños, apoyándose en dibujos para contextualizar las preguntas. Trabajaron con una muestra de 2036 niños divididos en grupos de 6 a 7 años y de 10 a 11 años, provenientes de 43 escuelas de los grados escolares 2° y 6° del sistema británico. Los resultados reportados para la intensidad promedio del ruido en $L_{Aeq,5min} = 57.4$ dB y en $L_{Amax,5min} = 70.1$ dB. Asimismo, reportan que la fuente principal del ruido fue el tráfico vehicular principalmente de autos. Igualmente, la molestia que reportan los niños hacia las diferentes fuentes de ruido es independiente del contexto donde las escuchen, en este caso, tanto en la escuela como en la casa les molesta ese ruido. Mientras que las correlaciones entre los grados de molestia y los niveles de ruido registrados fueron similares a los estudios reportados con adultos, lo cual indica que los niños son sensibles a los ruidos en su ambiente y pueden discriminar fuentes de ruido que les molesta. Las autoras concluyen que el nivel de ruido en el exterior de las escuelas influye en lo reportado por los niños con respecto a la facilidad de audición de sus maestros.

En la misma línea de investigación Lercher, Evans y Meis (2003) afirman que la literatura indica un patrón claro de la adquisición mediocre en la habilidad de lectura cuando existen niveles altos de ruido. Con base en los datos del estudio realiza-

do con niños ($M = 9.7$ años de edad) que viven en pueblos y áreas rurales en las regiones alpinas de Austria, con exposición al ruido ambiental en intensidades que oscilan de 57 a 74 dBA, los autores sugieren que incluso la exposición a niveles modestos de ruido ambiental puede tener efectos perjudiciales sobre el desarrollo de procesos cognoscitivos (atención y memoria) de los niños pequeños.

Posteriormente, Evans (2006) confirma que los niños expuestos al ruido manifestaron retardos significativos en la habilidad de lectura, siendo las fuentes de ruido primarias; el transporte (autos, aviones y trenes), la música y la gente. Observa que la mayor parte de la evidencia es lograda con estudios de tipo transversal, donde se compara a las escuelas afectadas por el ruido de aeropuertos con las escuelas con menor exposición al ruido ambiental. Además, el experto norteamericano en estudios de ruido, Gary Evans, compara sus resultados con estudios previos, encontrando que la exposición al ruido ambiental afecta a los niños que tienen mayor grado escolar y son expuestos por más tiempo al ruido, esta afectación es independiente de los niveles y las deficiencias preexistentes en la lectura. También concluye que la memoria de largo plazo, especialmente en las tareas verbales complejas que ejecutaban las personas estudiadas, es afectada tanto por la exposición al ruido crónico como al agudo. Igualmente, Evans (2006) reporta que otros estudios con niños han encontrado relaciones entre la exposición crónica al ruido y una atención disminuida. Con respecto a los maestros, los docentes de escuelas ruidosas reportan mayor fatiga, molestia y menor paciencia que los que enseñan en escuelas más silenciosas.

Los estudios en escenarios educativos mexicanos confirman el impacto psicológico negativo del ruido sobre los escolares, en particular, los efectos de tipo emocional, cognoscitivo y sobre la comprensión lectora (Estrada, 2007; Estrada-Rodríguez y Reyes-Lagunes, 2009; Estrada y Méndez, 2010).

El presente estudio comparativo está basado en la evidencia empírica de los estudios internacionales sobre los efectos negativos del ruido y tiene el objetivo de probar simultáneamente el impacto adverso del ruido sobre los múltiples atributos psicológicos y del rendimiento de los escolares mexicanos, evaluando comparativamente a tres escuelas expuestas diferencialmente al ruido ambiental.

MÉTODO

Participantes

La muestra fue no probabilista y la constituyeron todos los alumnos presentes al momento de las mediciones. Los participantes del estudio fueron 521 alumnos de educación primaria que respondieron al menos a dos de los tres bloques de las pruebas psicométricas aplicadas. De los cuales el 49.3% (257) eran mujeres y el 50.7% (264) hombres. La edad de los alumnos en años cumplidos fue de 8 a 13 años al momento de la aplicación, con una edad promedio de 10 años con una distribución de la siguiente manera: el 0.2% (1) tenía 8 años; el 32.3% (162) tenía 9 años; el 33.7% (169) tenía 10 años; el

27.9% (140) con 11 años; el 5.6% (28) tenía 12 años y sólo el 0.2% (1) tenía 13 años. Los alumnos que participaron en el estudio cursaban del 4° al 6° grados escolares, con la distribución siguiente: cuarto grado el 38% (198); quinto grado el 34.2% (178) y sexto grado el 27.8% (145).

Diseño

Para conocer y probar el impacto psicológico del ruido sobre los escolares, se elaboró un modelo teórico explicativo basado en la evidencia sobre las múltiples relaciones simultáneas entre las variables evaluadas en los salones de clase, y fue probado empíricamente a través del modelo estimado con un sistema de ecuaciones estructurales de los datos del estudio.

El diseño del estudio probó la variable independiente física de ruido ambiental, que es la energía acústica audible que no es deseada porque tiene efectos negativos (Kryter, 1994). Esta variable fue agrupada a la variable nominal de ubicación geográfica de las escuelas.

Las variables psicológicas (dependientes) que se evaluaron fueron: La variable latente del impacto emocional compuesta por tres variables medidas; 1) la molestia, que es una reacción de incomodidad que expresan los alumnos por el ruido que perciben en sus salones de clase; 2) la variable de interrupción de la comunicación con sus maestros y 3) la variable de interferencia de la comunicación con sus compañeros, que es la dificultad que perciben los alumnos para mantener una comunicación clara por el ruido en sus salones de clase. La variable latente del impacto cognoscitivo compuesta por dos variables medidas; 1) la inteligibilidad de la palabra, que es el entendimiento de las palabras habladas y 2) la variable de atención, que es un proceso cognoscitivo para seleccionar y mantener la información sensorial para su posterior interpretación. Además, la variable de rendimiento escolar (dependiente) evaluada fue la comprensión de lectura, que es la habilidad del sujeto para estudiar un texto corto e identificar una palabra clave suprimida del texto.

Instrumentos de medición

Se utilizaron dos tipos de instrumentos de medición; unos para evaluar los atributos psicológicos y de rendimiento de los alumnos y otro para registrar el ruido en los salones.

Para la medición de la intensidad sonora o la variable de ruido ambiental se utilizó un sonómetro digital estandarizado, medido en unidades de decibeles (dBA) con el parámetro de nivel sonoro continuo equivalente ponderado A (L_{Aeq}) recomendado para la valoración de escuelas (ANSI, 2002).

Para la medición de los atributos psicológicos se utilizaron tres modalidades de instrumentos, que se componen por seis instrumentos psicométricos que se aplicaron a cada uno de los alumnos:

1. Para evaluar el impacto emocional, se utilizaron tres escalas de autoreporte confiables y válidas; la Molestia por ruido, la Interferencia de la comunicación por ruido con el maestro y la Interferencia de la comunicación por rui-

do entre los compañeros (Estrada, 2007; Estrada y Reyes, 2008). En las que se evalúan 21 fuentes de ruido en la escuela y en su entorno, valorando de nada (1) a muchísimo (5) en cada una de las fuentes. Los 21 reactivos de cada una de las escalas de medición se agruparon con base en el análisis de componentes principales en tres fuentes de ruido: el generado por los vehículos en movimiento, el que proviene de los comercios fijos y el producido en el interior de la escuela.

2. Para evaluar el impacto cognoscitivo, formado con dos variables se utilizaron dos pruebas estandarizadas; la variable de inteligibilidad de la palabra (Pérez, Castañeda y Rodel, 1997) se midió con la prueba estandarizada en el laboratorio de acústica de la UNAM, por el M. en C. Santiago Jesús Pérez Ruiz, la prueba se compone de 25 palabras bislabas en español que son fonéticamente balanceadas. La variable de atención se valoró con la prueba perceptiva y de atención diseñada y estandarizada en 1911 por Toulouse, E. y Piéron, H., la prueba mide la perseverancia y la capacidad de focalizar la atención, contiene 1,600 figuras (40 filas de 40 elementos), la tarea consiste en señalar, durante un tiempo establecido, las figuras que tienen el mismo patrón que las de un modelo mostrado (Toulouse y Piéron, 1911/2000).
3. Para el rendimiento académico se empleó una prueba estandarizada; la prueba de Comprensión de la lectura de la batería Woodcock de proficiencia en el idioma (BWPI) en su versión en español. La prueba mide la habilidad de la persona para estudiar un texto corto e identificar una palabra clave que fue borrada, la tarea se realizó con 25 textos cortos organizados de un menor a un mayor grado de complejidad en su comprensión.

Escenarios

El estudio se realizó en tres escuelas primarias públicas de la ciudad de México, que por su ubicación geográfica están expuestas a diferentes intensidades de ruido ambiental. Para seleccionar las tres escuelas expuestas diferentemente al ruido, se usó el criterio urbano de la clasificación de la infraestructura vial en la ciudad: vialidad primaria o principal, secundaria y vialidad terciaria (GDF, 2010). Con base en estos criterios geográfico y urbano se realizó la selección de los escenarios de la siguiente manera: la primera escuela está ubicada en el anillo periférico que es una vialidad primaria que mueve gran volumen de tránsito vehicular; la segunda tiene su ubicación en una calle o vialidad secundaria, que se define porque enlaza un centro urbano con la red vial primaria; y la tercera escuela está ubicada en una vialidad terciaria, que únicamente facilita la movilidad dentro de una unidad habitacional con un menor tránsito vehicular cercano.

Los tres planteles educativos pertenecen a un programa gubernamental de escuelas de tiempo completo planeado para madres trabajadoras, por esta razón, funcionan en un horario extendido de las 8:00 a las 16:00 horas de forma continua, atendiendo alumnos del primero al sexto grado de educación pri-

maria con dos y tres grupos de cada nivel escolar. Los edificios de las escuelas tienen dos pisos, dos de ellas tienen 12 salones cada una y la tercera escuela tiene 18 salones. Las aulas de cada escuela tienen una arquitectura uniforme, sin embargo, las escuelas tienen variaciones en su diseño arquitectónico, como el volumen físico que fue medido en los 20 salones evaluados. La escuela ubicada en la vialidad primaria es la más variable, porque fue un edificio construido para otros usos, dos salones tienen un volumen de 108 metros cúbicos y los otros tres son de 162 metros cúbicos; la escuela ubicada en la vialidad secundaria tiene menos variaciones, dos salones de 130 metros cúbicos y siete de 164 metros cúbicos; la escuela construida en una vialidad terciaria es la única con sus seis salones iguales, con un volumen de 144 metros cúbicos cada uno.

Procedimiento

En primer lugar se gestionó la autorización de los directivos de cada escuela, con la exposición escrita y oral del proyecto de investigación planeado, en conformidad con los directores se planeó el levantamiento de la información de cada una de las escuelas, posteriormente, se realizó el levantamiento de la información de cada escuela en forma consecutiva en el tiempo y forma autorizados.

El proceso para las mediciones fue el mismo para cada escuela y se hicieron en los días laborables durante la jornada normal de las 8:00 a las 16:00 horas. El levantamiento de la información dentro de los 20 salones de clase se hizo en tres momentos diferentes para cada grupo, con sesiones planeadas en días y horas diferentes para registrar el ruido en las diversas actividades de la escuela: en la primera sesión, se aplicaron los tres instrumentos referentes al impacto emocional, que fueron la molestia e interferencia de la comunicación por ruido; en la segunda, los alumnos respondieron a las pruebas del impacto cognoscitivo, es decir, atención e inteligibilidad de la palabra; y en la tercera sesión, los estudiantes respondieron a la prueba de comprensión lectora, que es un indicador del rendimiento académico.

El procedimiento en cada una de las 60 sesiones fue el siguiente: en cada salón se midió el ruido ambiental durante cinco minutos en cada una de las seis zonas espaciales, predeterminadas e iguales, en que se dividieron todos los salones de las tres escuelas, los registros de ruido se hicieron en diferentes días y horarios para tener una representación de las actividades escolares regulares. Al mismo tiempo que se realizaban estas mediciones, los alumnos respondieron a las pruebas psicométricas, con el propósito de garantizar una asociación real entre la variación acústica y las percepciones y habilidades de los alumnos.

Resultados

En primer lugar, se analizó la intensidad sonora medida en las tres escuelas que por su ubicación geográfica presentan una exposición heterogénea al ruido ambiental, esta medición fue realizada de forma objetiva por medio de un instrumento acús-

tico o sonómetro. Las diferentes intensidades del ruido ambiental están relacionadas con el flujo vehicular, tal como fue planeado en el diseño de este estudio, al considerar el criterio urbano de la clasificación de la infraestructura vial en el Distrito Federal.

En la tabla 1, o cuadro comparativo, podemos observar los estadísticos (media, desviación estándar, valores mínimo y máximo) de los diferentes niveles de ruido ambiental registrados en las tres escuelas; donde la escuela clasificada como de mayor ruido fue la ubicada en la vialidad primaria, la de menor ruido fue la ubicada en una vialidad terciaria y la de mediano ruido fue la situada en una vialidad secundaria del Distrito Federal. También, se observa que esta diferencia de exposición a la intensidad del ruido ambiental fue equivalente durante las tres etapas de registro en que se dividió la evaluación de las tres escuelas; como se observa en las columnas de los niveles de

ruido medidos durante la evaluación de los efectos emocional, cognoscitivo y de la comprensión lectora.

En el segundo análisis para conocer la relación simultánea entre las variables acústica, educativa y psicológicas se aplicó el método estadístico para un sistema o modelo de ecuaciones estructurales (SEE, o SEM por sus siglas en inglés), formulando un modelo estructural basado en la evidencia empírica, para probar las relaciones simultáneas entre la variable física de ruido conjuntamente con la variable de comprensión lectora, y con las variables latentes del efecto emocional (molestia e interferencia de la comunicación con el maestro y los compañeros) y la del efecto cognoscitivo (atención e inteligibilidad de la palabra). Posteriormente, se utilizó el modelo de *Multiple Indicators and Multiple Causes* (MIMIC), en donde se presentan los resultados en coeficientes estandarizados para la comparación de las escuelas como se observa en la figura 1.

Tabla 1.

Intensidad del ruido ambiental en decibeles (dBA) de las tres escuelas durante las tres etapas de la evaluación.

Escuelas	Estadísticos	Efecto	Efecto	Comprensión
		emocional	cognoscitivo	lectora
Mayor ruido	Media	62,68	60,98	60,91
	Desviación estándar	4,13	3,43	3,37
	Mínimo	55,80	54,40	53,60
	Máximo	72,00	67,60	66,70
Menor ruido	Media	54,34	52,94	51,39
	Desviación estándar	3,24	4,14	3,34
	Mínimo	48,80	44,20	45,80
	Máximo	61,10	60,20	64,70
Mediano ruido	Media	59,32	57,76	54,53
	Desviación estándar	3,45	4,74	3,07
	Mínimo	53,00	48,70	47,90
	Máximo	65,30	66,90	61,60
Total	Media	58,58	57,04	55,17
	Desviación estándar	4,80	5,25	4,87
	Mínimo	48,80	44,20	45,80
	Máximo	72,00	67,60	66,70

El modelo probado ajusta de manera aceptable con los datos observados, tal como lo indican las pruebas de la calidad del ajuste: $\chi^2 = 29.34$ $p = 0.01$ CFI = .99 RMSEA = 0.05. De igual forma, considerando que la hipótesis nula fue rechazada ($p=0.01$), se usó también el criterio del cálculo de la razón aritmética del valor de la ji cuadrada (χ^2) entre los grados de libertad (gl), donde se espera un cociente mínimo alrededor del valor de 2, en este modelo la razón calculada es de $29.34 / 14 \text{ gl} = 2.09$, lo cual es un valor pequeño acorde al cociente esperado y por tanto el modelo es juzgado como aceptable. En términos estadísticos, con estos índices sobre la bondad del ajuste, podemos afirmar que la matriz de varianzas y covarianzas de las múltiples variables relacionadas está siendo reproducida por el modelo de manera aceptable.

En los resultados calculados a partir del modelo teórico, podemos analizar algunos de los efectos totales más importantes que son expresados con las siguientes ecuaciones estimadas con el modelo empírico:

Comprensión de lectura = $-0.178 * (\text{Efecto Emocional}) + 0.543 * (\text{Efecto cognitivo}) + 0.050 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + 0.052 * (\text{escuela3 vs escuela2}) + 0.840$ (error lectura) - 0.173 (error del efecto emocional) + 0.512 (error del efecto cognoscitivo)

Esta ecuación nos está explicando que: A mayor efecto emocional menor lectura (-0.178 de desviación estándar), y a mayor efecto cognitivo mayor lectura (0.543 de desviación estándar), con un pequeño efecto del tipo de escuela sobre la comprensión lectora (0.050 y 0.052 de desviación estándar).

Molestia = $0.811 * (\text{Efecto emocional}) + 0.221 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + 0.092 * (\text{escuela3 vs escuela2}) + 0.585$ (error de molestia) + 0.788 (error del impacto emocional)

La anterior ecuación nos probó que en la escuela 1 (con mayor ruido) se reporta más molestia (0.221 de desviación estándar).

Maestra(o) = $0.913 * (\text{Efecto emocional}) + 0.266 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + 0.104 * (\text{escuela3 vs escuela2}) + 0.399$ (error de comunicación con el maestro) + 0.887 (error del impacto emocional)

Esta ecuación nos probó que en la escuela 1 (con mayor ruido) existe mayor interferencia de la comunicación con el maestro (0.266 de desviación estándar), y que la interferencia de la comunicación con el docente en la escuela 3 (de mediano ruido) es mayor (0.104 de desviación estándar) que en la escuela 2 (con menor ruido).

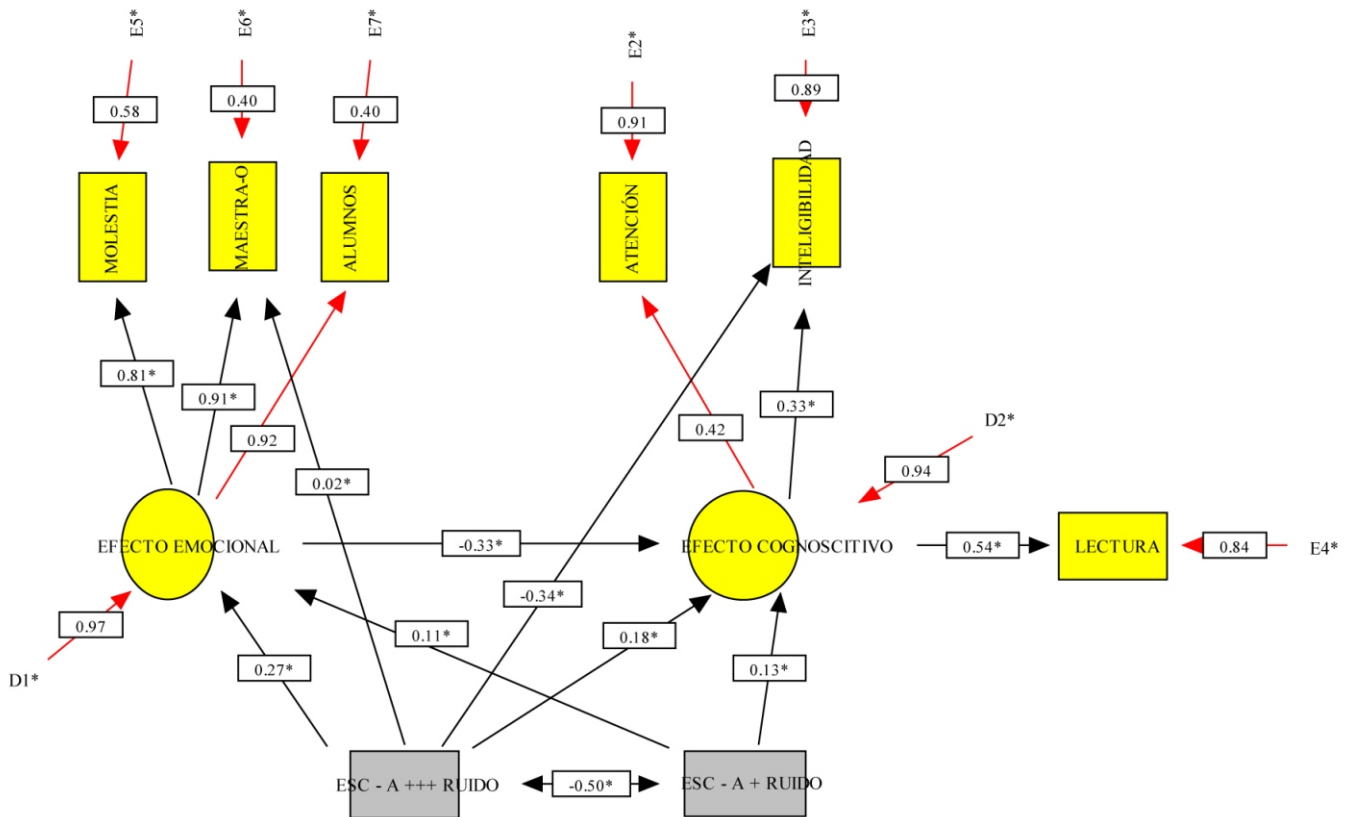


Figure X: EQS 6 MODELO MIMIC Chi Sq.=29.34 P=0.01 CFI=0.99 RMSEA=0.05

Figura 1. Modelo MIMIC del impacto psicológico del ruido en escuelas primarias del Distrito Federal.

Alumnos = $.916 * (\text{Efecto emocional}) + .250 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + .104 * (\text{escuela3 vs escuela2}) + .400 (\text{error de interferencia de comunicación con compañeros}) + .890 (\text{error de impacto emocional})$

La previa ecuación nos indica que los estudiantes en la escuela 1 (de mayor ruido) perciben más interferencia de la comunicación con sus compañeros (.250), y en la escuela 3 (de mediano ruido) la interrupción de la comunicación con sus compañeros es mayor (.104) que en la escuela 2 (de menor ruido).

Efecto emocional = $.273 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + .114 * (\text{escuela3 vs escuela2}) + .971 (\text{error del efecto emocional})$

Esta ecuación nos explica que en la escuela 1 (de mayor ruido) existe un mayor efecto emocional (.273 de desviación estándar), y en la escuela 3 (de mediano ruido) el impacto emocional es más (.104 de desviación estándar) que en la escuela 2 (de menor ruido).

Efecto cognoscitivo = $-.328 * (\text{Efecto emocional}) + .092 * (\text{escuela1 vs escuela2}) + .095 * (\text{escuela3 vs escuela2}) - .318 (\text{error del efecto emocional}) + .943 (\text{error del efecto cognoscitivo})$

La precedente ecuación nos estimó que existe un menor efecto cognoscitivo cuando se experimenta un mayor efecto emocional (-.328 de desviación estándar), también, se observó un leve aumento del efecto cognoscitivo de forma semejante en la escuela 1 con mayor ruido (.092 de desviación estándar), y en las escuelas 3 y 2 de menores niveles de ruido (.095 de desviación estándar).

DISCUSIÓN

Consideramos que la relevancia del estudio radica en la integración multivariada de las evidencias empíricas que se sintetizaron en el modelo teórico probado con ecuaciones estructurales, porque nos explica integral y simultáneamente la manera en que el ruido en los salones de clase impacta negativamente a los procesos psicológico y educativo de los alumnos, ya que anteriormente en los estudios precursores, estos efectos habían sido explicados parcialmente con base en la estadística bivariada tradicional. A continuación, se discuten descriptiva y relacionadamente algunos de los efectos psicológicos relevantes que se probaron en el modelo estimado.

Con respecto al efecto psicológico de la molestia que experimentan los estudiantes por el ruido en los salones de clase, los datos señalan que los alumnos expresan en promedio una molestia moderada, a pesar de estar expuestos a elevados niveles de ruido en su salón. Sin embargo, ellos pueden discriminar las diversas fuentes de ruido que perciben en su aula, además, es claro que la fuente que les genera mayor molestia de forma regular son los ruidos de ellos mismos en la escuela. Este efecto psicológico de la molestia en los escolares por el ruido en sus escuelas, concuerda con estudios realizados en otros países como lo reportan Dockrell, Shield y Rigby (2004); Enmarker y Boman (2004); Dockrell y Shield (2004).

En relación con el efecto psicológico de la inteligibilidad de la palabra, los resultados nos indican que los estudiantes oyen

de forma inteligible un promedio de 93% de la información hablada, en otras palabras, según esta prueba no existe una pérdida significativa de la información hablada por el maestro. Este resultado concuerda con la apreciación de Crandell y Smaldino (2000) en cuanto que, el impacto del ruido en los salones, sin considerar la reverberación, reduce en un 10% la percepción del habla, en contraparte, una situación que no se presentó en este estudio, donde salones con ruido elevado y reverberación alta disminuyen en un 40% ó 50% el habla percibida.

Para explicar el impacto diferencial que tuvieron las escuelas por su ubicación geográfica, tanto en el efecto emocional como en el efecto cognoscitivo de los estudiantes, observamos los diferentes senderos en el modelo empírico de la Figura 1. Primero, vemos que los coeficientes estandarizados de la escuela de menor ruido tuvo un efecto del 0.11 en el impacto emocional, mientras que en la escuela de mayor ruido se estimó un mayor impacto emocional como lo señala el coeficiente de sendero de 0.27; posteriormente, para conocer el impacto cognoscitivo en los estudiantes, vemos que en la escuela de menor ruido se registró un efecto integral de 0.13, comparado con la escuela de mayor ruido, se reportó una disminución en la inteligibilidad de la palabra como lo indica el coeficiente estandarizado de -0.34, aunado al efecto integral de 0.18 en la variable latente. Estos resultados se discuten de una forma original porque no existe información similar en la literatura especializada.

Respecto al efecto principal de tipo educativo que evaluamos por medio de la comprensión lectora, los datos nos indican que los alumnos tienen una mejor comprensión de textos cuando: perciben un menor efecto emocional por el ruido, porque reportan una menor molestia y menos interferencia de la comunicación con el maestro y sus compañeros; integrado a tener un mayor impacto cognoscitivo, ya que poseen mejores habilidades en la atención e inteligibilidad del habla. Estos resultados son consistentes con otros estudios, por ejemplo: la relación de la comprensión de lectura con el ruido la reportan; Cohen, Glass y Singer (1973); Evans y Maxwell (1997); Hygge, Evans y Bullinger (2002); Haines, Stansfeld, Job, Berglund y Head (2001); Lercher, Evans y Meis (2003); Petry, McClellan y Myler (2001); Schick, Meis y Reckhardt (2000).

Para estudios futuros que proyecten una explicación integral del impacto psicológico y educativo en los escolares por el ruido en las escuelas de México, se deberá estar en consonancia con la preocupación internacional acerca del ruido ambiental, porque la evidencia documentada en la literatura especializada, acentúa que el ruido es preocupante tanto por sus efectos en la salud integral de las personas, como por su impacto en el aprendizaje de los estudiantes (EPA, 2014; WHO, 2014b). Al respecto de esta preocupación por el ruido, nuestra aportación con base en los resultados obtenidos, nos prueba que los efectos psicológicos y educativo no son causados de forma directa por la exposición al ruido, sino que intervienen procesos de tipo bio-psico-social que median la relación [causa (ruido) → efecto (salud y aprendizaje)], en otras palabras, no se puede probar solamente la relación directa entre la exposición al ruido y los efectos en la salud y en el aprendizaje.

Para avanzar en la comprensión de este problema de salud ambiental, se requiere de un esfuerzo continuo de investigación multidisciplinaria, para identificar y probar múltiples modelos que expliquen gradualmente las relaciones directas e indirectas del proceso mediador entre el ruido, mediado por las diferencias individuales y sus efectos indirectos para la salud y el aprendizaje: [causa (ruido ambiental) → diferencias individuales (bio-psico-social) → efectos (en la salud y en el aprendizaje)].

REFERENCIAS

- ANSI (2002). *American National Standard Institute*, ANSI S12.60-2002: Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools.
- Bronzaft, A. L. (1981). The effect of a noise abatement program on reading ability. *Journal of Environmental Psychology*, 1, 215-222.
- Bronzaft, A. L. & McCarthy, D. P. (1975). The effect of elevated train noise on reading ability. *Environment and Behavior*, 7(4) 517-527.
- Cohen, S., Evans, G. W., Krantz, D. S. & Stokols, D. (1980). Psychological, motivational and cognitive effects of aircraft noise on children: Moving from the laboratory to the field. *American Psychological Assessment*, 35(3) 231-243.
- Cohen, S., Glass, D. C. & Singer, J. E. (1973). Apartment noise, auditory discrimination and reading ability in children. *Journal of Experimental Social Psychology*, 9(5), 407-422.
- Crandell, C. C. & Smaldino, J. J. (2000). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech and Hearing Services in Schools*, 31, 362-370.
- Dockrell, J. E. & Shield, B. (2004). Children's perceptions of their acoustic environment at school and at home. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115(6) 2964-2973.
- Dockrell, J. E., Shield, B. M. & Rigby, K. (2004). *Acoustic guidelines and teacher strategies for optimizing learning conditions in classrooms for children with hearing problems*. London: Achieving Clear Communication Employing Sound Solutions (ACCESS), 217-227.
- Enmarker, I. & Boman, E. (2004). Noise annoyance responses of middle school pupils and teachers. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 527-536.
- Estrada-Rodríguez, C. y Reyes Lagunes, I. (2008) Escala de molestia por ruido ambiental en escolares. En (AMEPSO) *La Psicología Social en México. Vol. XII* (pp 779-783). México: AMEPSO.
- Estrada-Rodríguez, C. & Reyes-Lagunes, I. (2009). Psychological effects on school children due to classroom acoustics: A study in México city. En M, Chapin, J. Bissel, et al. (Eds). *The Ethical Design of Places* (pp 445-451). Edmond, Oklahoma: EDRA.
- Estrada, C. (2007). *Efectos psicológicos de la contaminación por ruido en escenarios educativos* (Tesis doctoral inédita). UNAM, México.
- Estrada, C., y Méndez, I. (2010). Impacto del ruido ambiental en estudiantes de educación primaria de la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Medicina Conductual*, 1(1), 57-68.
- EPA (2014). U. S. *Environmental protection agency: Noise pollution*. [En red]. Disponible en: <http://www.epa.gov/air/noise.html>
- Evans, G. & Stecker, R. (2004). Motivational consequences of environmental stress. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 143-165.
- Evans, G. W. (2006). Child development and the physical environment. *Annual Review of Psychology*, 57, 423-451.
- Evans, G. W. & Maxwell, L. (1997). Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition. *Environment and Behavior*, 29(5) 638-657.
- Evans, G.W. & Lepore, S.J., (1993). Nonauditory effects of noise on children: A critical review. *Children's Environments*, 10(1) 31-51.
- GDF (2010). *Gobierno de la ciudad de México: Secretaría de Transporte y Vialidad* [En red]. Disponible en: <http://www.setravi.df.gob.mx/>
- Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F. S. Berglund, B. & Head, J. (2001). Chronic aircraft noise exposure, stress responses, mental health and cognitive performance in school children. *Psychological Medicine*, 31, 265-277.
- Hygge, S., Evans, G. W. & Bullinger, M. (2002). A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in school children. *Psychological Science*, 13 (5), 469-479.
- Kryter, K. (1994). *The handbook of hearing and the effects of noise*. USA: Academic Press.
- Lercher, P., Evans, G. W. & Meis, M. (2003). Ambient noise and cognitive processes among primary school children. *Environment and Behavior*, 35(6) 725-735.
- Pérez, S. J., Castañeda, R. y Rodel, A. (1997). Estudio experimental sobre el reconocimiento auditivo de monosílabos sin sentido y bisílabos ambos fonéticamente balanceados. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, XVIII (3), 11-16.
- Petry, E., McClellan, J. & Myler, P. (2001). Listening and learning in classroom acoustical design [Resumen]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109 (5) 2478.
- Schick, A., Meis, M. & Reckhardt C. (2000). *Contributions to psychological acoustics: Results of the 8th Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*, 533-569.
- Shield, B. & Dockrell, J. E. (2004). External and internal noise surveys of London primary schools [Resumen]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115(5) 730.
- Suter (1991). Noise and its effects. Reporte para la *Administrative Conference of The United States*.
- Toulouse, E. y Piéron, H. (1911/2000). *Manual de la prueba perceptiva y de atención T-P, Toulouse-Piéron, edición española*. Madrid: TEA Ediciones.
- WHO (2014a). *World Health Organization: Noise*. [En red]. Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise>
- WHO (2004b). *World Health Organization: Noise and Health*. [En red]. Disponible en: <http://www.euro.who.int/noise/>