

CESÁREO ESTRADA-RODRÍGUEZ E  
IGNACIO MÉNDEZ RAMÍREZ

FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM E  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN MATEMÁTICAS  
APLICADAS Y EN SISTEMAS, UNAM

## IMPACTO DEL RUIDO AMBIENTAL EN ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN PRIMARIA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

*ENVIRONMENTAL NOISE IMPACT ON ELEMENTARY SCHOOL STUDENTS OF MEXICO CITY*

Recibido: Mayo 31, 2010  
Revisado: Junio 23, 2010  
Aceptado: Junio 30, 2010

Esta investigación se realizó en una estancia posdoctoral con el financiamiento del Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología de México (CONACyT).

Los coautores contribuyeron de manera equitativa y esencial para este artículo.

Dirigir correspondencia a: Facultad de Psicología de la UNAM, Edificio D, Posgrado, piso 2, cubículo # 2, tel: 5622-2306 Avenida Universidad 3004, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510, México D. F.

Correo: cer@unam.mx y imendez@unam.mx

### Resumen

El objetivo general del estudio fue probar la congruencia de un modelo explicativo de las múltiples relaciones que se han observado en los salones de clase entre las variables físicas de ruido y la distancia profesor-alumno con algunos atributos psicológicos y educativos de los estudiantes. El diseño del estudio probó las variables independientes físicas de ruido ambiental y la distancia física maestro-alumno. Las variables psicológicas (dependientes) que se evaluaron en 521 alumnos fueron: Las tres que conformaron la variable latente denominada Impacto emocional que son; la Molestia, la Interrupción de la comunicación con el maestro y con sus compañeros. Simultáneamente, se valoraron la Inteligibilidad de la palabra y la variable educativa de comprensión lectora. Para conocer la relación entre las variables acústicas, de diseño y psicológicas se aplicó un sistema de ecuaciones estructurales. El modelo explicó con una calidad de ajuste óptimo ( $\chi^2 = 12.59$ ,  $p = 0.63$ , CFI = 1.0, RMSEA = 0.0) al conjunto de relaciones de dependencia de todas las variables evaluadas. Como conclusión, podemos sugerir que el modelo probado con este trabajo nos explica integralmente la manera en que el ruido y el diseño de los salones de clase impactan negativamente a los procesos psicológico y educativo de los alumnos.

*Palabras clave:* Efectos del ruido, escenarios educativos, ecuaciones estructurales, acústica en salones de clase.

### Abstract

The general objective of the study was to prove the congruency of an explanatory model of the multiple relationships that have been observed in classrooms between the physical variables of noise and teacher-pupil distance with certain psychological and educational attributes of pupils. The design of the study tested the independent physical variables of environmental noise and teacher-pupil physical distance. The psychological (dependent) variables evaluated in 521 pupils were: The three that made up the latent variable Emotional impact, which are; Discomfort, Interruption of communication with the teacher and with classmates. Simultaneously, the Speech intelligibility and the educational variable of reading comprehension were evaluated. To determine the relationship between acoustical, design, and psychological variables, a system of structural equations was applied. The model explained with optimum fit quality ( $\chi^2 = 12.59$ ,  $p = 0.63$ , CFI = 1.0, RMSEA = 0.0) the set of relationships of dependency of all the variables evaluated. In conclusion, we can suggest that the model proven with this project fully explains how noise and classroom design negatively affect pupils' psychological and educational processes.

*Keywords:* Effects of noise, educational settings, structural equation modeling (SEM), classroom acoustics.

## Introducción

La infraestructura educativa nacional, de acuerdo a la Secretaría de Educación Pública de México (SEP, 2008), atiende al 90.8 % de los alumnos de educación básica en escuelas públicas y el 9.2 % restante corresponde a los alumnos de escuelas particulares. En el ciclo escolar 2005-2006 se inscribieron en la educación primaria 14' 548,194 niños en 98,045 escuelas de todo el país. De igual forma reportan que en el D. F. existen 3,386 escuelas con 964,303 alumnos inscritos. Equivalentemente, en el Distrito Federal con información del Sistema Nacional de Información Educativa de la SEP (SNIE, 2007) en el ciclo escolar 2005-2006, de la matrícula total (964,303) de educación primaria; 763,219 alumnos se inscribieron en escuelas públicas y 201,084 en escuelas particulares. Este número de alumnos asistieron a 3,386 escuelas, de las cuales 2,230 eran públicas y 1,156 escuelas particulares. Con estos datos se puede calcular hipotéticamente la densidad de alumnos por escuela; obteniendo en promedio 342 alumnos en cada escuela pública (teniendo 12 ó 18 aulas) y 174 alumnos por cada escuela particular. Actualmente ya reconoce la propia autoridad a la infraestructura educativa como desfavorable para el rendimiento escolar, tal como lo comentó la ex administradora federal de servicios educativos en el D. F., S. Ortega (2005) al advertir que la infraestructura educativa del Distrito Federal tiene un rezago de 25 años, afirmando que el problema no es trivial porque "tenemos evidencia de que los resultados de los alumnos se relacionan con el ambiente escolar. Es decir, a mejor ambiente, mayores logros, eso está probado estadísticamente" (p. 42).

Además de este rezago en la infraestructura educativa, podemos añadir otro elemento conceptual que interviene en el rendimiento escolar, la concepción de la teoría de la cognición auditiva, donde McAdams y Bigand (1993) afirman que no hay teoría del conocimiento completa sin una teoría de su adquisición y de su percepción, acentuando en los aspectos cognoscitivos de la audición, indican que la información auditiva participa de una manera fundamental en el desarrollo del conocimiento, considerando una dinámica de intercambio, el conocimiento adquirido actúa recíprocamente con la información sensorial para interpretar el estímulo auditivo.

En el contexto educativo internacional se ha estudiado desde hace cuarenta años el impacto negativo que tiene el ruido ambiental en el aprovechamiento de los escolares. 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 avance tecnológico de la instrumentación acústica, y en consonancia con la preocupación mundial por el cambio ambiental global, donde la contaminación por ruido es el principal factor ambiental que más afecta a la calidad de vida de la población, como lo documenta la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2004).

Los estudios sobre los efectos del ruido ambiental en los escenarios educativos se intensifican a partir de los años 1970's, al mismo tiempo que se crea la Agencia de Protección Ambiental Estadounidense en 1970, y dos años después en 1972 se realiza la Conferencia de Estocolmo de la ONU sobre la situación ambiental mundial, a partir de esta reunión internacional, se producen nuevos conocimientos sobre el impacto ambiental global. Una de sus derivaciones en el campo académico, fueron los estudios sobre el impacto del ruido en la población. Una revisión breve de la literatura especializada del impacto del ruido en los escenarios educativos nos sugiere una evolución del conocimiento en este campo. Los avances científicos se han orientado en la medición física de diversas variables acústicas en los espacios de aprendizaje, y se han relacionado con variables de tipo psicológico y educativo de los alumnos.

A partir de los primeros estudios publicados en el mundo, en 1981 la U. S. *Environmental Protection Agency* (U. S. EPA, 1981) documenta que los efectos indirectos del ruido en la interferencia de la comunicación son: alteración de las actividades educativas, riesgos de seguridad y una fuente de molestia extrema. Por los altos niveles de ruido se reduce el número de conversaciones así como su contenido, calidad y fidelidad. Mientras que el ruido en los niños, que tienen un conocimiento insuficiente del lenguaje, los hace menos capaces para escuchar las palabras, ya que alguna de las señales acústicas del mensaje hablado se pierde por el ruido. En estos primeros estudios, sugieren que la exposición constante a niveles elevados de ruido en las etapas críticas del desarrollo humano, podría afectar el desarrollo conceptual y la adquisición del habla y el lenguaje junto con las habilidades relacionadas como la lectura y la escucha.

Por ejemplo, en un trabajo conjunto entre las instituciones gubernamental y académica en Estados Unidos, Bronzaft y McCarthy (1975) reportan una relación significativa entre el ruido de los trenes elevados de Nueva York y los bajos puntajes en pruebas de lectura de los alumnos en una escuela cercana a las vías del tren.

Posteriormente, Cohen, Evans, Krantz y Stokols (1980) estudiaron los efectos del ruido de los aviones en los alumnos de primaria en escuelas ruidosas y en escuelas con menos ruido, reportan que sus resultados son consistentes con los estudios de laboratorio sobre las respuestas fisiológicas al ruido, puesto que, los alumnos de escuelas ruidosas tienen más alta presión sanguínea que los de escuelas no ruidosas; también, los alumnos expuestos al ruido tuvieron más errores en las tareas cognoscitivas y desatendieron la ejecución de la tarea antes del tiempo programado.

Los estudios de los años 1970's y 1980's sobre los efectos del ruido en los niños escolares se centraron en su rendimiento académico, así como, en la interferencia de la comunicación entre el maestro y los alumnos y entre los propios estudiantes. En esos años, solo se identificaban como fuentes de ruido en los escenarios educativos; al tránsito de autos, trenes y aviones alrededor de las escuelas.

Para la década de los 1990's e inicio de los 2000's los estudios han sido más complejos, porque se consideran más efectos psicológicos y se utilizan más mediciones de variables acústicas de las escuelas, como se documenta a continuación. En 1995 Evans comparó los efectos del ruido en niños escolares expuestos al tránsito aéreo en Alemania, midiéndoles la presión arterial y las hormonas de estrés en muestras de orina y de saliva. Los resultados mostraron un incremento de las hormonas neuroendocrinas ante la exposición al ruido crónico; así como reactividad cardíaca en respuesta a tareas demandantes, también encontró déficit tanto en la memoria a largo plazo, como en la atención y la lectura de los escolares. Asimismo, los niños que vivían en comunidades ruidosas evaluaban el lugar donde vivían de manera negativa en términos de molestia y fastidio. Posteriormente, continuando con esta línea de investigación, Evans y Maxwell (1997) reportan que, escolares de primero y segundo grado expuestos crónicamente al ruido de aviones, mostraron un déficit significativo en la lectura al ser evaluados con una prueba estandarizada administrada en condiciones silenciosas. Estos hallazgos indican que los efectos nocivos del ruido están relacionados a las exposiciones crónicas. También se ofrece evidencia de que, la correlación inversa de ruido crónico con la lectura se puede atribuir, parcialmente, al déficit en la adquisición del lenguaje porque, los niños expuestos crónicamente al ruido sufren también de una percepción deteriorada del habla la cual es, parcialmente, mediadora del vínculo ruido-exposición-déficit de lectura. Tres años después, Maxwell y Evans (2000) utilizan un estudio

de cohorte para evaluar los efectos del ruido crónico sobre las habilidades de pre-lectura en niños de pre-escolar de 4 y 5 años. Los niños fueron evaluados antes de instalar atenuadores de sonido en los salones y después de la instalación de paneles de absorción sonora, encontrando que, en la condición silenciosa los niños califican más alto que en la cohorte ruidosa acerca del reconocimiento medido de letra-número-palabra de una escala de lenguaje.

Similarmente, Mackensen, Bullinger, Meis, Evans y Hygge (1999) en una investigación longitudinal prospectiva acerca de los efectos del ruido de aviones de un nuevo aeropuerto en Alemania, evaluaron la salud psicológica de niños de 9 a 13 años con una escala de calidad de vida. Los resultados mostraron un decremento significativo en la calidad de vida a los 18 meses de inaugurado el aeropuerto, así como un déficit motivacional en el área del nuevo aeropuerto por la exposición al ruido de aviones. En un estudio complementario, Evans, Bullinger y Hygge (1998) reportan que, durante un período de dos años, evaluaron los índices del estrés en niños de 9 a 11 años que vivían cerca del aeropuerto; midiendo su presión sanguínea en reposo y sus niveles de hormonas neuroendocrinas. Encontraron que la exposición crónica al ruido de aviones eleva el estrés psicofisiológico de los niños; valorado tanto por la presión sanguínea como por los niveles de hormonas neuroendocrinas (epinefrina y norepinefrina). En resultados complementarios del anterior estudio longitudinal, Hygge, Evans y Bullinger (2002) reportaron que, después de abierto el nuevo aeropuerto, el grupo de niños expuestos al ruido tuvieron deterioros en la memoria de largo plazo, la lectura y la percepción del habla.

En una réplica de los estudios anteriores con otra aproximación metodológica, Haines, Stansfeld, Job, Berglund y Head (2001) realizaron un estudio en Londres, que probó si los efectos del ruido encontrados previamente son atribuidos a la exposición de ruido de aeronaves, sin embargo, reportan que sus resultados confirman parcialmente los anteriores sobre la asociación entre exposición al ruido con el deterioro en la lectura y la molestia elevada. Y no se confirmaron todos los aspectos porque los altos niveles de ruido no fueron asociados con: la memoria, la atención, la secreción elevada de catecolamina y el estrés auto reportado, sólo la exposición al ruido de aeronaves estuvo asociada débilmente con la hiperactividad y el equilibrio psicológico. Con resultados complementarios, Haines, Stansfeld, Head y Job (2002) reportan que la exposición crónica al ruido de aviones fue relacionada a un escaso rendimiento en lectura y ma-

temáticas, también, concluyen que esta asociación es afectada por factores socioeconómicos.

Sincrónicamente, en otra parte de Europa, Enmarker y Bonan (2004) llevan a cabo un estudio para evaluar la molestia por ruido en escolares de educación media, donde los alumnos identifican las conversaciones en clase y el arrastre de sillas y mesas como las principales fuentes de ruido en sus escuelas, quedando claro que los ruidos producidos por ellos mismos son el origen de su molestia, sin encontrar diferencias entre hombres y mujeres en sus respuestas; lo cual indica, resultados contrarios acerca de las diferencias por género en la molestia producida por el ruido, porque en otros estudios las mujeres reportan mayor molestia que los hombres.

Del mismo modo, Lercher, Evans y Meis (2003) afirman que la literatura indica un patrón claro de una adquisición mediocre en la habilidad de lectura cuando existen niveles altos de ruido. Con los datos del estudio realizado con niños ( $M = 9.7$  años) que viven en pueblos y áreas rurales en las regiones alpinas de Austria (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.

En una revisión del estado del arte de los efectos del ruido sobre los niños en la escuela, Shield y Dockrell (2003) consideran que en los 30 años de investigación sobre el tema, en su mayoría se ha realizado en la educación primaria con niños de entre 5 y 11 años. Reportan que muchos de los estudios se enfocan en los efectos del ruido sobre el procesamiento cognoscitivo de los niños ante la ejecución de tareas, del mismo modo, sobre el rendimiento académico en la escuela. Desigualmente, existe un número limitado de estudios sobre la molestia experimentada por los niños escolares. Además, las autoras refieren que el efecto mayor del ruido en el salón es la reducción de: la inteligibilidad de la palabra, la audición y el entendimiento del discurso. En un trabajo reciente, las mismas autoras inglesas Shield y Dockrell (2008) confirman que los efectos del ruido sobre los niños han sido estudiados desde hace 40 años, acorde con las evidencias reportadas, es aceptado generalmente que el ruido tiene un efecto perjudicial sobre el desarrollo cognoscitivo de los niños de educación primaria, y que los niños más grandes de este grupo de edad son más afectados que los niños menores. También, actualmente es aceptado que la exposición de la escuela a todos los tipos de ruido afecta el aprendizaje y el rendimiento académico de los niños.

En un esfuerzo multinacional, Stansfeld, Berglund, Clark, López-Barrio, Fisher, Öhrström, Haines, Head, Kamp y Berry (2005) realizaron un estudio transnacional en el cual evaluaron 2844 niños de 9 a 10 años de edad, quienes asistían a 89 escuelas primarias cercanas a los aeropuertos de Schiphol, Barajas y Heathrow en Holanda, España y Reino Unido respectivamente. Fue realizado entre Abril y Octubre del 2002 con 908 niños de 27 escuelas de España, 1174 niños de 29 escuelas del Reino Unido y 762 niños de 33 escuelas de Holanda. Seleccionaron a los niños por su exposición al ruido del tráfico aéreo y vehicular, igualando las escuelas por el estatus socioeconómico de los países y por la exposición equivalente de ruido. Midieron los aspectos de salud y cognoscitivos con pruebas estandarizadas y cuestionarios aplicados en los salones. Los resultados muestran una asociación lineal entre la exposición crónica al ruido de aviones con el deterioro en la comprensión de la lectura y con la memoria de reconocimiento. Mientras la exposición al ruido vehicular fue asociado linealmente con aumentos inexplicables en la memoria episódica (recordar conceptos e información), y también con la molestia. Los autores consideran que sus resultados indican que un estresor ambiental crónico, como el ruido de aviones, podría perjudicar el desarrollo cognoscitivo en los niños, específicamente la comprensión de la lectura.

En un estudio reciente en salones universitarios de Vancouver, Canadá, Kennedy, Hodgson, Edgett, Lamb y Rempel (2006) detectan que la fuente de ruido que mayormente interfiere en la comunicación son los propios alumnos, tanto al estar platicando en clase como al estar moviéndose en el salón, seguido de los ruidos intermitentes que vienen del exterior de los salones y del edificio. Esta situación provoca que los alumnos experimenten las consecuencias de: no escuchar la participación de sus compañeros, romper su concentración, incrementar su fatiga y hacer un esfuerzo mayor para escuchar. También, los resultados les indican que existe una asociación significativa entre la percepción de los alumnos en cuanto a escuchar fácilmente en los salones con el índice de transmisión del discurso (medida física calculada entre la señal, el ruido y el tiempo de reverberación de las aulas), siempre y cuando los demás factores evaluados se mantengan constantes. Para los autores estos datos sugieren que, en la situación de los salones actuales, existen otros factores, sumados a las características acústicas físicas, que juegan un papel importante en la percepción que los usuarios tienen referente a la calidad del ambiente de escucha. Por lo

que, proponen que el diseño acústico óptimo de los salones de clase necesita considerar las condiciones de ocupación habitual, así como las características físicas y acústicas de los salones desocupados. Igualmente, los salones deberían ser diseñados para una comunicación efectiva entre los estudiantes y desde ellos al maestro, así como del instructor a los alumnos.

En Ottawa, Canadá, recientemente los expertos canadiense y japonés Bradley y Sato (2008) describen los resultados de mediciones acústicas y de pruebas de inteligibilidad en salones de clase de educación básica. Los valores de la inteligibilidad de la palabra se obtuvieron con la prueba de *Word Identification by Picture Identification (WIPI)*, que incluye cuatro listas de 25 sustantivos simples fonéticamente balanceados. Las mediciones acústicas registradas fueron los niveles del discurso hablado y del ruido de fondo en las condiciones normales de clase. Reportando que el nivel del discurso de los maestros registró en promedio 59.5 (5.5) dBA, y el promedio de la razón señal/ruido fue aproximadamente de +11dB. Afirman que la relación entre la inteligibilidad y la razón S/R es similar a otros estudios previos en salones de clase, pero diferente a los estudios iniciales de laboratorio. Además detectan que sus resultados, en estas condiciones reales, muestran otras distracciones que se espera que ocurran en los salones de clase, como los producidos por otros estudiantes del mismo salón o de los salones adyacentes. Bradley y Sato afirman que sus resultados promedio muestran que los alumnos más pequeños del primer grado (seis años) necesitan de 7 dB más de razón S/R para lograr los mismos niveles de inteligibilidad de la palabra que los alumnos de sexto grado (11 años). Consideran que esta inhabilidad de los niños pequeños para entender varias de las palabras que dicen los maestros, hace más difícil su aprendizaje de nuevos conceptos. También confirman que la literatura indica que los niveles elevados de ruido están asociados con un número de factores educativos, tales como, déficit en la habilidad de lectura, efectos en la memoria y en la conducta de los alumnos. En un estudio complementario, Sato y Bradley (2008) reconocen que se han publicado muchos estudios de las condiciones acústicas en los salones de clase, y enfatizan los resultados reportados en algunos de ellos. Por ejemplo, en las mediciones de los niveles de ruido en salones, los niveles han sido altos en las clases de los niños más pequeños, reportando promedios de 60 dBA en salones de preescolar (5 años de edad) y promedios de 50 dBA para salones del 12 grado (17 años de edad). Las escasas mediciones reportadas de los niveles de voz

de los maestros han encontrado una variación desde 50 a 65 dBA, con una tendencia a decrecer conforme los alumnos tienen más edad. Las mediciones reportadas de los tiempos de reverberación de los salones, estuvieron en su mayoría en el intervalo de 0.4 a 1.2 segundos. Igualmente, enumeran otros estudios japoneses, italianos, brasileños y americanos donde los valores reportados son más heterogéneos por sus diferentes condiciones geográficas. Sin embargo, Sato y Bradley examinan la necesidad de tener mejor información sobre las condiciones acústicas cuando los salones están ocupados y en operación, como una forma de optimizar sus propios criterios acústicos que desarrollaron para los salones de clase. En este estudio, trabajan con 41 salones de clase, pero, sólo en 27 hacen todas las mediciones acústicas cuando están ocupados o en actividad académica. Reportan que la fuente de ruido dominante en los salones ocupados son la misma actividad de los alumnos, el nivel promedio de ruido en salones con actividad docente fue de 49.1 decibeles, el nivel promedio de la voz de los maestros fue de 60.4 dBA, y el tiempo de reverberación promedio en las frecuencias medias fue de 0.41 segundos con un incremento del 10% con los salones desocupados.

En los países latinoamericanos, Loro y Zannin (2004) realizaron un estudio en la ciudad de Curitiba, Brasil, donde reportan que en cuatro salones, el ruido de fondo con el salón vacío fue de 63.3 dBA y la fuente de ruido percibida fueron los salones contiguos, concluyen que estos resultados se exceden de los convenidos en todas las normas establecidas en el mundo. Recientemente, De Medeiros, Barreto y Assuncao (2007) reportan niveles de ruido en salones de educación primaria brasileños de 59 a 87 dBA en las horas escolares. Además, identifican relaciones significativas con el incremento de síntomas de fatiga y dolores de cabeza junto con una disminución en la variabilidad de la hormona de cortisol. Concluyen que el ruido debería ser considerado un factor de riesgo en los escenarios educativos. En esta misma línea de estudio, de Oliveira y Sattler (2006) evaluaron en tres escuelas cercanas a un aeropuerto de Brasil, los niveles de ruido y la molestia en los estudiantes, los resultados indicaron problemas en el rendimiento escolar, producto de la interrupción frecuente en la comunicación en los salones por los altos niveles de ruido registrado, también muestran que los niños de 11 a 13 años son el grupo más vulnerable.

La revisión de la literatura nos demuestra la importancia de estudiar la acústica en los salones de clase,

porque el ruido en los escenarios educativos tiene un impacto en los alumnos, que indirectamente, entre otros factores, puede influir en el rendimiento escolar. Igualmente, la literatura consultada nos muestra una escasez de estudios en México, relacionados con el impacto del ruido ambiental en los niños escolares. Esta situación nos indica que en nuestro país, los diversos esfuerzos realizados para aumentar el nivel educativo y rendimiento escolar no han contemplado los aspectos del diseño arquitectónico y del diseño acústico de los salones de clase que, como en otros países, deberían haber sido evaluados o considerados como probables obstáculos físicos para la educación.

En este estudio, planteamos como pregunta de investigación, ¿el ruido y la ubicación física al interior de los salones de clase impacta a las habilidades psicológicas y educativas de los alumnos de educación primaria? Para responder a esta pregunta, diseñamos el estudio para valorar el impacto del ruido en las habilidades de inteligibilidad y comprensión lectora de los escolares, además, cómo se modifica esta relación por la distancia física existente entre el profesor y el alumno.

El objetivo general fue probar la congruencia de un modelo explicativo de las múltiples relaciones que se han observado en los salones de clase entre las variables físicas de ruido y la distancia profesor-alumno con algunos atributos psicológicos y educativos de los estudiantes. En específico, se quiere evaluar simultáneamente las múltiples relaciones directas e indirectas de las variables modeladas, es decir; las relaciones directas entre el ruido como variable observada de tipo física y una variable latente de tipo psicológica, nombrada como impacto emocional y conformada por las variables de molestia e interferencia de la

comunicación con el maestro y con los compañeros, al mismo tiempo, también valorar la relación directa entre la variable observada (distancia física del maestro al alumno) y la variable de inteligibilidad de la palabra. Finalmente, evaluar las relaciones directa e indirecta de estas variables observadas y latentes con la comprensión lectora de los alumnos de educación primaria. La teoría por confirmarse se plasma en la figura 1.

### Método

El diseño del estudio probó las variables independientes físicas de ruido ambiental, que es todo sonido no deseado o dañino creado por la actividad humana al aire libre, y la distancia física maestro-alumno, medición tomada desde la parte central del pizarrón hasta el lugar que ocuparon todos los estudiantes en el interior de sus salones.

Las variables psicológicas (dependientes) que se evaluaron fueron: Las tres que conformaron la variable latente denominada Impacto emocional que son; la Molestia, que es una reacción de incomodidad que expresan los alumnos por el ruido que perciben en sus salones de clase; la Interrupción de la comunicación, que es la dificultad que perciben los alumnos para mantener una comunicación clara, tanto con el maestro como con los compañeros, provocada por el ruido en sus salones de clase; la variable observada de Inteligibilidad de la palabra, que es el entendimiento de las palabras habladas. La variable educativa (dependiente) evaluada fue la comprensión de lectura, que es la habilidad del sujeto para estudiar un texto corto e identificar una palabra clave borrada del texto.

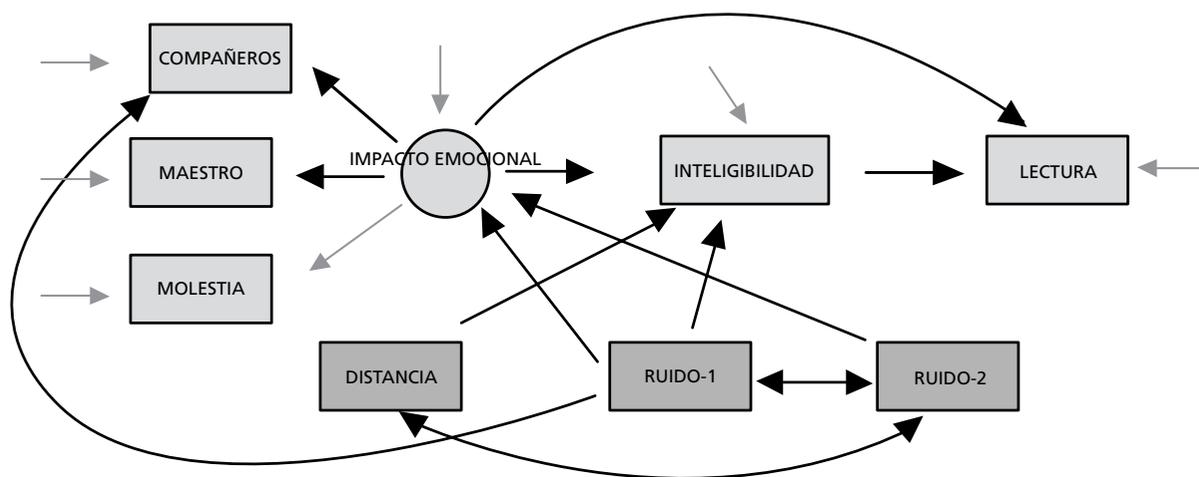


Figura 1. Modelo inicial a probar.

### *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 eran 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).

### *Instrumentos*

Se utilizaron dos tipos de instrumentos de medición; unos para evaluar los atributos psicológicos de los alumnos y otros para registrar el ruido ambiental en los salones y para medir la distancia física del maestro al alumno.

Para la medición de la intensidad sonora o la variable de ruido se utilizó un sonómetro digital estandarizado, el ruido ambiental fue medido en decibelios (dBA) con el parámetro de nivel sonoro continuo equivalente ponderado A ( $L_{Aeq}$ ) como lo recomiendan los estándares establecidos (ANSI, 2002).

Para medir la distancia física de la ubicación del maestro al alumno, se utilizó un aparato electrónico que emplea señales luminosas infrarrojas y señales ultrasónicas para la medición de distancias hacia superficies planas (SONIN Combo PRO).

Para la medición de los atributos psicológicos se utilizaron tres modalidades de instrumentos, que se componen de cinco 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 ruido entre los compañeros (Estrada, 2007; Estrada y Reyes, 2008). En las tres escalas se evalúan 21 fuentes de ruido en la escuela y en su entorno, con una escala de medición de nada (1) a muchísimo (5) en cada una de las fuentes calificadas. Los 21 reactivos de las escalas de autoreporte agrupan en general a tres fuentes de ruido; que es generado por los vehículos en movimiento, por los

establecimientos de servicios fijos y el que es producido con las actividades de la misma escuela.

2. Para evaluar la Inteligibilidad de la palabra (Pérez, Castañeda y Rodel, 1997), se usó una prueba estandarizada en el laboratorio de acústica de la UNAM, concebida por el M. en C. Santiago Jesús Pérez Ruiz, que se compone de 25 palabras bisílabas en español que son fonéticamente balanceadas.

3. Para el rendimiento académico, se empleó una escala 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 estuvieran expuestas a diferentes intensidades de ruido ambiental. Para seleccionar a las tres escuelas expuestas diferentemente al ruido, se usó el criterio urbano de la clasificación de la infraestructura vial en la ciudad de México: vialidad primaria o principal, secundaria y vialidad terciaria. Con base en estos criterios geográfico y urbano se realizó la selección de los escenarios de la siguiente manera: una escuela está ubicada en el anillo periférico, que es una vialidad primaria que mueve gran volumen de tránsito vehicular; la otra tiene su ubicación en una calle o vialidad secundaria, que se define porque enlaza un centro urbano con la red vial primaria; y la tercer 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 primaria 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 (dos grupos de cada grado escolar) y la tercer escuela tiene 18 salones (tres grupos de cada grado escolar). 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 presentación de exposiciones 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 evaluados, se hizo en tres horarios 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 la prueba de inteligibilidad de la palabra; y en la tercera sesión, los estudiantes respondieron a la prueba de comprensión lectora, que es nuestro indicador del rendimiento académico.

El procedimiento de las 60 sesiones totales fue el siguiente: en los 20 salones evaluados durante tres sesiones, 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 sonoras, 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. Igualmente con esta intención metódica, se midió y registró la distancia física desde el pizarrón en su parte central hasta la cabeza de cada alumno, además, se anotó su posición espacial dentro del salón, con base

en las seis zonas espaciales predeterminadas en todos los salones.

### Resultados

Los resultados descriptivos de los efectos psicológicos en los alumnos por la acústica en sus salones de clase, nos indican que los estudiantes en promedio perciben una molestia moderada ( $M = 2.6$ ,  $DE = .68$ ) por el ruido en sus salones, a pesar de que los niveles reales registrados fueron muy altos; con un nivel promedio en las tres escuelas de 57 decibeles (dBA), con niveles medidos con un valor mínimo de 48 dBA y con un máximo de 65 dBA, cuando el nivel de ruido regulado para las aulas es de 35 dBA. También, a pesar de estos niveles altos de ruido, los alumnos expresan en general una mediana dificultad para comunicarse con sus maestros ( $M = 2.6$ ,  $DE = .75$ ) y con sus compañeros ( $M = 2.6$ ,  $DE = .81$ ). Con respecto a su capacidad de inteligibilidad o de entendimiento de las palabras habladas, los alumnos en promedio oyen clara y distintamente el 92% del discurso de los maestros. En su desempeño en la comprensión lectora, los estudiantes tuvieron un promedio general de 50.76% de aciertos, con una desviación estándar de 2.5, obteniendo casos con calificaciones mínima de 4% y máxima de 80% de aciertos en la prueba de comprensión.

Para conocer la relación entre las variables acústicas, de diseño y psicológicas se aplicó un sistema de ecuaciones estructurales (Hoyle, 1995; Kline, 2005) que examina múltiples relaciones simultáneamente, a través del cual se identificó el impacto del ruido y de la distancia física en las cualidades psicológicas evaluadas.

Primero, integramos un factor conceptual que denominamos impacto emocional del ruido, compuesto por tres variables observadas: la molestia e interferencia de la comunicación tanto con el maestro como con los compañeros.

En segundo lugar, elaboramos un modelo apoyado en la literatura especializada, donde se especificaron las relaciones entre el conjunto de las variables de ruido, del diseño arquitectónico representadas por las dimensiones físicas de las aulas, las psicológicas y la variable indicadora del rendimiento académico.

El modelo explicó con una calidad de ajuste óptimo ( $\chi^2 = 12.59$ ,  $p = 0.63$ ,  $CFI = 1.0$ ,  $RMSEA = 0.0$ ) al conjunto de relaciones de dependencia de todas las variables evaluadas. En la figura 2 se reportan los coeficientes de sendero estandarizados, que son el cambio calculado en desviaciones estándar de una

variable dependiente al aumentar una desviación estándar la variable independiente. Similarmente, las asociaciones entre variables independientes son coeficientes de correlación.

Como se puede observar en esta figura 2, en el modelo se calcularon simultáneamente los siguientes efectos directos: La inteligibilidad de la palabra tiene una relación de dependencia en forma negativa con el factor de impacto emocional (-0.13), con el ruido registrado (-0.16) y con la distancia del maestro al alumno (-0.14). El factor de impacto emocional tiene una relación de dependencia positiva con los niveles de ruido registrados, tanto en la sesión uno (0.11) como en la sesión dos (0.20). La comprensión lectora de los alumnos tiene una relación de dependencia de forma positiva con la capacidad de inteligibilidad (0.19) y en forma negativa con el factor de impacto emocional (-0.14). También se pueden observar las cargas factoriales (0.93, 0.92, 0.81) de las variables observadas que conforman el factor denominado impacto emocional.

Sincrónicamente, se estimaron los efectos indirectos, donde se calculan los senderos de regresión de las relaciones múltiples que explican a las variables dependientes o endógenas, que en este estudio son la inteligibilidad de la palabra y la comprensión lectora. Sin embargo, estos valores no son visibles directamente en el modelo, ya que son calculados a partir de los múltiples senderos indirectos que convergen en las variables dependientes.

Con los valores calculados de los efectos directos e indirectos se estiman los efectos totales o senderos de regresión múltiple que explican a las variables dependientes de inteligibilidad y comprensión lectora, los cuales son analizados en la discusión del presente trabajo.

### Discusión

La importancia del presente estudio fue probar la integración, por medio del modelo propuesto, de las explicaciones teóricas y de los hallazgos empíricos creados en los últimos cuarenta años de investigación en este campo.

En este estudio, los resultados estimados por cada ecuación simultánea del modelo probado son congruentes con los hallazgos reportados por los diversos especialistas del campo, quienes han mostrado las relaciones entre las variables de una manera parcial sin un análisis integral de las relaciones múltiples de dependencia (ASA, 2000; Crandell y Smaldino, 2000; Dockrell y Shield, 2004; Enmarker y Bonan, 2004; Hygge, Evans y Bullinger, 2002; Lercher, Evans y Meis, 2003; Maxwell y Evans, 2000; Picard y Bradley, 2001; World Health Organization, 1999).

Igualmente, nuestros resultados son coherentes con los estudios multidisciplinarios que tratan de explicar los impactos del ruido en las escuelas con una visión más integral (Clark, Martin, van Kempen, Al-

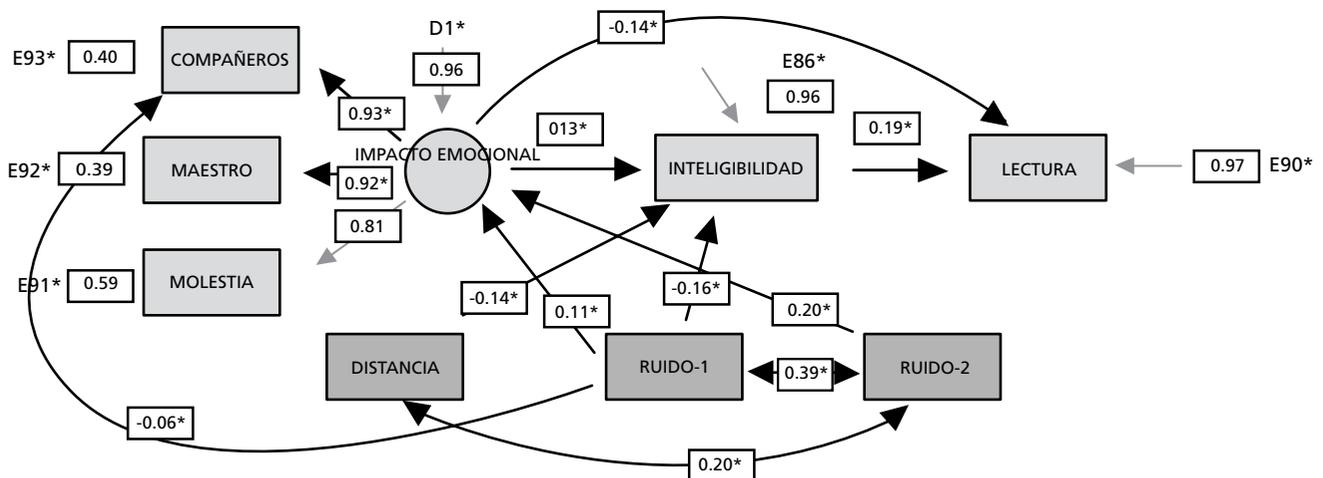


Figura 2: Índices de ajuste: Chi Sq.=12.59 P=0.63 CFI=1.00 RMSEA=0.00

Figura 2. Modelo empírico del impacto del ruido ambiental en estudiantes de educación primaria de la Ciudad de México (coeficientes de sendero estandarizados).

fred, Head, Davies, Haines, Lopez Barrio, Matheson y Stansfeld, 2006; Haines, Stansfeld, Head y Job, 2002; Stansfeld, Berglund, Clark, López-Barrio, Fisher, Öhrström, Haines, Head, Kamp y Berry, 2005).

El modelo que probamos calculó simultáneamente las relaciones de dependencia entre las variables independientes de ruido ambiental y distancia maestro-alumno que se midió en cada uno de los salones, con las variables dependientes o psicológicas que se evaluaron en cada alumno; utilizando escalas psicométricas que valoraron el impacto emocional (conformado por la molestia e interferencia de la comunicación con el maestro y con los compañeros), la inteligibilidad de la palabra y la comprensión lectora.

Los efectos totales estimados con el modelo, tanto los directos como los indirectos, nos explican la magnitud y la dirección de las relaciones múltiples de dependencia de las variables medidas. Para una mejor apreciación, haremos una discusión detallada de cada relación estimada, considerando los efectos totales.

El factor de impacto emocional por el ruido percibido reportado por los alumnos está determinado por los niveles de ruido medidos en sus salones. La ecuación calculada ( $\text{Impacto emocional} = .114 \cdot \text{Ruido-1} + .201 \cdot \text{Ruido-2} + .964 \cdot \text{error}$ ), nos revela que en las áreas de los salones donde se registraron niveles elevados de ruido, los alumnos reportaron un mayor impacto emocional por las situaciones acústicas percibidas.

La calificación de inteligibilidad de la palabra de los alumnos está determinada por el impacto emocional, por el ruido y por la distancia física con sus maestros. La ecuación estimada ( $\text{Inteligibilidad} = -.129 \cdot \text{Impacto emocional} - .172 \cdot \text{Ruido-1} - .139 \cdot \text{Distancia física} - .026 \cdot \text{Ruido-2} + .964 \cdot \text{error de inteligibilidad} - .124 \cdot \text{error de impacto emocional}$ ), nos revela que los alumnos que calificaron con una menor capacidad de la inteligibilidad de la palabra hablada; fueron quienes expresan un mayor impacto emocional por el ruido, los que se sientan en las zonas del salón que registran mayores niveles de ruido, y quienes se ubican en los lugares del salón más distantes al maestro.

La capacidad en la comprensión lectora de los alumnos evaluados está determinada directamente por la inteligibilidad de la palabra hablada y por el impacto emocional percibido, de manera simultánea, también está explicada indirectamente por el ruido medido y la distancia física hacia el maestro. La ecuación calculada ( $\text{Comprensión lectora} = .187 \cdot \text{Inteligibilidad} - .167 \cdot \text{Impacto emocional} - .049 \cdot \text{Ruido-1} - .026 \cdot \text{Distancia al maestro} - .034 \cdot \text{Ruido-2} + .180 \cdot \text{error inteligibilidad} + .967 \cdot \text{error comprensión lectora} - .161 \cdot \text{error impacto emocional}$ ), nos evi-

dencia que los alumnos que calificaron mejor en la comprensión lectora; fueron quienes poseen mayor inteligibilidad del discurso hablado y quienes expresan un menor impacto emocional por el ruido, e indirectamente por un proceso mediador, quienes estuvieron sentados en las zonas con menos ruido y más cercanos al maestro.

Como conclusión, podemos sugerir que el modelo probado con este trabajo nos explica y evalúa integralmente la manera en que el ruido y el diseño de los salones de clase impactan negativamente a los procesos psicológico y educativo de los alumnos. En otras palabras, el diseño arquitectónico de los escenarios educativos cumple una función muy importante tanto para el bienestar, como para el rendimiento escolar de los estudiantes. Por lo tanto, la funcionalidad del escenario escolar debería incluir para su diseño tanto los elementos físicos, como los psicológicos y educativos; porque la interacción resultante de estos elementos puede convertirse en un beneficio o un obstáculo al proceso de aprendizaje de los estudiantes de educación primaria.

## Referencias

- ANSI (2002). *Standard S12.60-2002. Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*. USA: American National Standards Institute.
- ASA (2000). *Classroom acoustics*. USA: Acoustical Society of America.
- Bradley, J. & Sato, H. (2008). The intelligibility of speech in elementary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 123 (4), 2078-2086.
- Bronzaft, A. L. & McCarthy, D. P. (1975). The Effect of elevated train noise on reading ability. *Environment and Behavior*, 7, 4, 517-527.
- Clark, C., Martin, R., Kempen, E., Alfred, T., Head, J., Davies, H., et al. (2005). Exposure-Effect Relations between Aircraft and Road Traffic Noise Exposure at School and Reading Comprehension. *American Journal of Epidemiology*. 163, 1, 27-37.
- 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 Assn*, USA. 35(3), 231-243. Resumen de la base de datos PsycINFO.
- 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.

- De Medeiros, A. M., Barreto, S. M. & Assuncao, A. A. (2007). Physiological and psychological stress reactions to classroom noise [Resumen]. *Journal Voice*, 33, 4, 260-266.
- 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.
- 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 (Eds.), *La Psicología Social en México. Vol. XII* (pp.779-783). ISBN: 968-54-11-12-3. México: AMEPSO.
- Estrada, C. (2007). *Efectos psicológicos de la contaminación por ruido en escenarios educativos*. Tesis no publicada de doctorado en Psicología. México: UNAM.
- Evans, G. W. & Maxwell, L. (1997). Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition. *Environment & Behavior*, 29, 5, 638-657.
- Evans, G. W. (1995). Chronic noise and psychological stress. *Psychological Science*, 6, 6, 333-338.
- Evans, G. W., Bullinger, M. & Hygge, S. (1998). Chronic noise exposure and physiological response: A prospective study of children living under environmental stress. *Psychological Science*, 9(1), 75-77. Resumen de la base de datos PsycINFO.
- Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Head, J. & Job, R. F. S. (2002). Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow airport London. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56(2), 139-144. Resumen de la base de datos PsycINFO.
- Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, S., Berglund, B. & Head, J. (2001). A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *International Journal of Epidemiology*, 30, 839-845.
- Hoyle, R. H. (1995). *Structural Equation Modeling. Concepts, Issues, and Applications*. USA: Sage Publications Inc.
- Hygge, S., Evans, G. W. & Bullinger, M. (2002). A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychological Science*, 13(5), 469-479. Resumen de la base de datos PsycINFO.
- Kennedy, S. M. Hodgson, M., Edgett, L. D., Lamb, N. y Rempel, R. (2006). Subjective assessment of listening environments in university classrooms: Perceptions of student. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119, 1, 299-309.
- Kline, R. B. (2005). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. USA: The Guilford Press.
- Lercher, P., Evans, G. W. & Meis, M. (2003). Ambient noise and cognitive processes among primary schoolchildren. *Environment and Behavior*, 35, 6, 725-735.
- Loro, C. P. y Zannin, P. T. (2004). Classroom acoustics in public schools: A case study [Resumen]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 115, 5, 2371.
- Mackensen, S. Bullinger, M., Meis, M., Evans, G. & Hygge, S. (1999). The psychological cost of aircraft noise for children [Resumen]. *Journal of the Acoustical Society of America*, 105, 2, 1219.
- Maxwell, L. E. & Evans, G. W. (2000). The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. *Journal of Environmental Psychology*, 20, 1, 91-97.
- McAdams, S. y Bigand, E. (1993). *Thinking in Sound: The Cognitive Psychology of Human Audition*. Oxford: Oxford University Press.
- Oliveira, M. F. y Sattler, M. A. (2006). Aircraft Noise Perception and Annoyance at Schools Near Salgado Filho International Airport, Brazil. *Building Acoustics*, 13, 2, 159-172.
- Ortega, S. (2005, 26 de abril). Presenta rezago de 25 años la infraestructura educativa del DF. *La Jornada*.
- 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.
- Picard, M. & Bradley, J. S. (2001). Revisiting speech interference in classroom. *Audiology*, 40(5), 221-244. Resumen de la base de datos PsycINFO.
- Sato, H. & Bradley, J. (2008). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. *J. Acoust. Soc. Am.*, 123 (4), 2064-2077.
- SEP (2008). Secretaría de Educación Pública. [En red] Disponible en [www.sep.gob.mx](http://www.sep.gob.mx)
- Shield, B. & Dockrell, J. E. (2003). The effects of noise on Children at school: A review. *Building Acoustics*, 10, 2, 97-116.
- Shield, B. & Dockrell, J. (2008). The effects of environmental and classroom noise on the acade-

- mic attainments of primary school children. *J. Acoust. Soc. Am.*, 123 (1), 133–144.
- Stansfeld, S., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Ohrström, E., et al (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365, 1942-1949.
- U. S. EPA (1981). *Noise effects handbook*. Florida: National Association of Noise Control Officials.
- WHO (2004). World Health Organization. [En red]. Disponible en: <http://www.euro.who.int/noise/>
- World Health Organization (1999). *Guidelines for Community noise*. [En red]. Disponible en: <http://www.who.int/peh/noise/guidelines2.html>