



Niveles de contaminación sonora en la ciudad de Montevideo

Ing. Alice Elizabeth González⁽¹⁾; Lic. Víctor Martínez Luaces⁽¹⁾;
Dr. Ing. Esteban Gaja Díaz⁽²⁾; Ing. Antonio Reig Fabado⁽²⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, Uruguay

⁽²⁾ E.T.S.I. Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

Montevideo City, in the República Oriental del Uruguay (South America) is the major city in the country, with a population of 1.500.000 and an extension of 528 km². The Engineering Faculty is working coordinately with the local government in order to make a noise map of the city considering all sources of noise, not only urban traffic. In the very beginning of the work, methodologies of collecting and processing data were an obstacle. An investigation work was done to adjust these methodologies. Its results are presented in this communication.

Introducción

La ciudad de Montevideo, capital de la República Oriental del Uruguay, es la mayor ciudad del país y la única en el departamento homónimo. La extensión de la ciudad propiamente dicha es próxima a la del departamento, que totaliza una superficie de 528 km². Se encuentra ubicada el centro y sur del país, sobre las costas del Río de la Plata. Cuenta con aproximadamente 1:500.000 habitantes, lo que representa la mitad de la población total del Uruguay.

En 1996 el Servicio de Instalaciones Mecánicas y Eléctricas de la Intendencia Municipal de Montevideo y el Departamento de Ingeniería Ambiental del Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería acordaron encarar conjuntamente un relevamiento de niveles sonoros en la vía pública en la ciudad, con vistas a la obtención de un mapa de ruido. A diferencia de la metodología usual, según la que se realizan los mapeos en zonas de elevada densidad de tránsito, se deseaba un relevamiento de toda la ciudad (incluyendo áreas tranquilas) y considerando las diferentes fuentes de ruido ambiental urbano en su conjunto, sin descartar ningún tipo de información. Esto mostró la necesidad de realizar un ajuste a la metodología habitual de colecta y procesamiento de muestras, de las que existen abundantes citas en la bibliografía. Dicho ajuste estuvo a cargo del Departamento de Ingeniería Ambiental, en estrecha interacción con el Laboratorio de Acústica Industrial de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia.

Metodología de trabajo

Al plantearse el objetivo de realizar mediciones de ruido urbano y admitir fuentes no asociadas exclusivamente al tráfico, dejaron de ser aplicables las premisas básicas con las que se trabaja en mapas de ruido de tránsito y por ende fue necesario replantearse la metodología de colecta de muestras y procesamiento de la información relevada.

Durante todo el desarrollo del trabajo de campo se utilizó un equipo Quest M-39 (tipo 1) con data-logger, con capacidad para almacenar hasta treinta y un eventos diferentes. El trabajo de campo estuvo a cargo de siete estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil Hidráulico-Ambiental de la Facultad de Ingeniería.

Se escogió un grupo de puntos de distintas zonas geográficas de la ciudad para realizar las tareas de ajuste. Los mismos pertenecen a los barrios de Ciudad Vieja; Cordón - IMM; Pocitos; Pocitos - Rivera; Punta Carretas; Carrasco, y Punta Gorda.

Inicialmente se trabajó, recogiendo recomendaciones bibliográficas para ruido de tránsito, sobre muestras de quince (15) minutos de duración. Se realizaron cuatro (4) repeticiones en cada punto, siempre en horario vespertino (13 a 18 horas). Los datos recogidos en cada caso (en cada evento medido) fueron:

- la serie de valores de $L_{Aeq,T}$ de cada minuto de medición (total 15 valores por evento)
- el $L_{Aeq,T}$ del evento total de 15 minutos de duración
- los valores de $L_{A10,T}$, $L_{A50,T}$ y $L_{A90,T}$ para el evento total de 15 minutos de duración.

A la hora de informar un resultado valedero sobre las cuatro repeticiones disponibles para cada punto geográfico (y en particular buscando generar valores representativos para los L_i), se procedió al análisis estadístico de la información disponible.

En primer término se analizó la normalidad de las series de $L_{Aeq,T}$ de cada evento. Para ello se recurrió a la prueba de ajuste de normalidad de D'Agostino¹. Esta prueba trabaja a través del ordenamiento de los datos de la muestra, apuntando a la construcción de un estadístico D para el cual están tabulados los valores críticos. Se verifica luego si el resultado obtenido para el nivel de significación del 5% está dentro del intervalo admisible o fuera de él, es decir, en la región crítica o de rechazo de la hipótesis de normalidad. El intervalo en cuestión depende del tamaño muestral, que da los grados de libertad. Al aplicar esta prueba, se vio que un porcentaje elevado de las muestras (superior al 70%) era no normal. Por lo tanto, se recurrió a la estadística no paramétrica para continuar adelante con el procesamiento de las muestras.

Para la comparación de los cuatro eventos correspondientes a un mismo punto geográfico se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis². Esta prueba trabaja a través de rangos asignados al conjunto total de datos que se estudia, a partir de los que construye un estadístico que se compara con el valor crítico obtenible de tablas de la distribución ji-cuadrado, para el nivel de significación del 5%. El número de grados de libertad es igual al número de eventos de trabajo menos uno. La prueba de Kruskal-Wallis permite, en definitiva, determinar si los distintos eventos pertenecen a una misma población o, lo que es lo mismo, están describiendo el mismo fenómeno físico o no.

La aplicación de esta prueba mostró que la mayoría de los puntos caía dentro de la región crítica o de rechazo, o sea, los eventos considerados no describen el mismo fenómeno físico o no pertenecen a la misma población.

Se pensó que una posible causa para la obtención de este resultado podía ser el disponer de un número reducido de repeticiones en cada punto geográfico. Se trabajó entonces incrementando el número de eventos en varios de los puntos; en algunos se llegó a un máximo de diez repeticiones. Aplicada nuevamente la prueba de Kruskal-Wallis en los distintos puntos geográficos, se observó que se mantenía la predominancia de los puntos en que se rechazaba la hipótesis nula (esto sin mediar regularidad geográfica alguna).

Al admitir que la falencia del diseño del experimento no se vinculaba con el número de repeticiones a realizar en cada punto, se optó por incrementar la duración de los eventos (de las muestras): en puntos escogidos se trabajó con eventos de una hora de duración, y sin embargo los resultados no se modificaron.

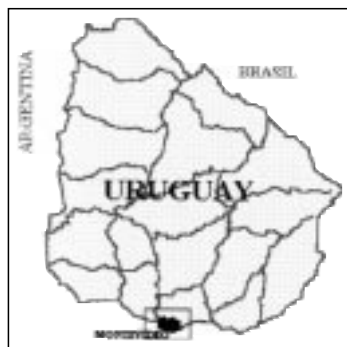


Figura 1. Ubicación de Montevideo en la República Oriental del Uruguay.

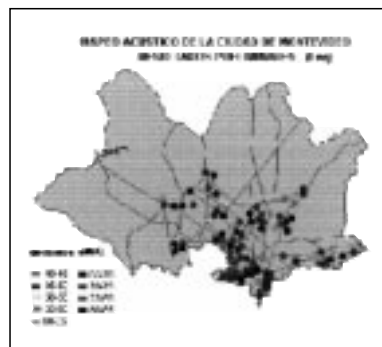


Figura 2. Resultados preliminares del mapa acústico de Montevideo. Valores de L_{eq}

| Localización | Nº de muestras | Duración | Estadístico | Valor crítico de la prueba | Resultado |
|---------------------------|----------------|----------|-------------|----------------------------|------------|
| Pagola y 26 de Marzo | 4 | 15 | 0,655191 | 7,81473 | Acepto H0 |
| Achiras y Pagola | 8 | 15 | 14,38464 | 14,0671 | Rechazo H0 |
| Ariosto y Parva Domus | 6 | 15 | 49,72708 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Buenos Aires y Misiones | 6 | 15 | 10,51766 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Benito Blanco y Martí | 6 | 15 | 17,72374 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Av. Bolivia y Rivera | 6 | 15 | 3,0779 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Canelones y S. de Chile | 10 | 15 | 36,00526 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Canelones y S. de Chile | 3 | 60 | 14,06157 | 5,99 | Rechazo H0 |
| Cavia y Lázaro Gadea | 6 | 15 | 20,57773 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| S. Antuña y T. Diago | 5 | 15 | 21,00607 | 9,48773 | Rechazo H0 |
| Durazno y Salto | 5 | 60 | 14,05141 | 9,48773 | Rechazo H0 |
| Durazno y Salto | 10 | 15 | 55,02324 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Ejido y 18 de Julio | 10 | 15 | 22,75253 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Ellauri y Miranda | 6 | 15 | 15,35807 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Ellauri y Bvar. España | 4 | 15 | 7,865246 | 7,81473 | Rechazo H0 |
| Rambla y Bvar. España | 6 | 15 | 1,240092 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Florida y San José | 6 | 15 | 2,528236 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Rambla y Grito de Gloria | 9 | 15 | 63,5424 | 15,5073 | Rechazo H0 |
| Gonzalo Ramírez y Salto | 10 | 15 | 24,30943 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Av.Italia y Av.Bolivia | 10 | 15 | 15,71452 | 16,919 | Acepto H0 |
| Limburgo y P.y Ombúes | 10 | 15 | 17,69915 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Maldonado y Paraguay | 6 | 15 | 17,89206 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Martí y S. Vázquez | 4 | 15 | 1,770864 | 7,81473 | Acepto H0 |
| Mones Roses y Córcega | 10 | 15 | 32,4067 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Palermo y Ma. Espínola | 10 | 15 | 13,85956 | 16,919 | Acepto H0 |
| Cipriano Pay-n y Haedo | 8 | 15 | 14,63894 | 14,0671 | Rechazo H0 |
| J.Ma.Pérez y B.Blanco | 6 | 15 | 15,33915 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| G.Pereira y C.Payán | 4 | 15 | 3,302186 | 7,81473 | Acepto H0 |
| 18 de Julio y Pza. Indep. | 6 | 15 | 53,41647 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Solano García y Rambla | 6 | 15 | 9,08133 | 11,0705 | Acepto H0 |
| J.Ma. Pérez y Rambla | 6 | 15 | 6,237124 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Rambla y Yaro | 10 | 15 | 20,52625 | 16,919 | Rechazo H0 |
| Reconquista e Ituzaingó | 6 | 15 | 24,4433 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Av.Rivera y Pastoriza | 6 | 15 | 11,62809 | 11,0705 | Rechazo H0 |
| Sarandí y J.C.Gómez | 6 | 15 | 2,269353 | 11,0705 | Acepto H0 |
| Uruguay y Ejido | 10 | 15 | 12,17635 | 16,919 | Acepto H0 |
| Uruguay y Ejido | 3 | 60 | 1,20985 | 5,99 | Acepto H0 |

Presentación de resultados

La tabla que sigue resume, para los treinta y cuatro puntos en que se realizaron mediciones en esta etapa de ajuste metodológico, las tareas realizadas y su resultado. En la primera columna se da la posición geográfica del punto; las columnas siguientes indican el número de muestras que se estudiaron y su duración en minutos; en la cuarta columna está el valor del estadístico obtenido al comparar las muestras disponibles, que puede fácilmente compararse con el valor crítico, a partir del cual se rechaza la hipótesis nula en la prueba de Krsukal-Wallis; este aparece en la quinta columna; la última columna se limita a explicitar el resultado de la prueba. Se observa que de 37 casos analizados, el 62,2 % de los casos dio dentro de la

región de rechazo; para las lecturas de quince minutos fue rechazado un 61,8 % de las muestras; no es aplicable esto a las lecturas de una hora, por ser muy pocos los datos disponibles (se diría que el 66,7% de las muestras caen dentro de la región de rechazo).

Conclusiones

Al trabajar con ruido ambiental urbano y aceptar fuentes de ruido que no responden exclusivamente a lo que se denomina "ruido de tráfico", comienzan a aparecer eventos distorsionantes o "anómalos" cuya ocurrencia no sigue leyes definidas. La ocurrencia de estos eventos distorsionantes conduce a la no normalidad de las muestras de ruido urbano y se asocia directamente con la calidad de no comparables de muestras colectadas en un mismo punto geográfico y en igualdad de condiciones. Se observó que incrementar el número de lecturas en cada punto no modifica los resultados de las pruebas estadísticas, como tampoco incrementar la duración de las lecturas a comparar.

Se propone entonces minimizar el número de muestras en cada punto, pero en contrapartida procurar captar muestras de larga duración (compatibles con la operativa normal de este tipo de trabajos) para que en la obtención de los valores a informar se considere la mayor cantidad de información posible.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer especialmente a los estudiantes que llevaron a cabo los trabajos de campo: Assanelli, Tania; Bessouat, Claudia; Castagnino, Griselda; Gerardo, Rocco; López, Julieta; Martorano, Genoveva; y Rodríguez, Gonzalo.

¹ D'Agostino. An omnibus test of normality for moderate and large size samples. *Biometrika* (1971) 58. pág. 341 - 347

² W. Mendenhall, Dennis Wackerly & Richard Scheaffer. *Estadística matemática con aplicaciones*. Grupo Editorial Iberoamericana. 1990.