



paper ID: A123 /p.1

## **Análisis Multivariado de Mediciones de Nivel de Presión Sonora del Ruido de Tránsito Urbano y Variables Asociadas en su Entorno**

M. Saavedra<sup>1</sup>, R. Capdevila<sup>2</sup>, P. Vergara<sup>1</sup> & S. Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departamento de Industria, Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile, José Pedro Alessandri 1242, Ñuñoa, Santiago de Chile Email: [msaaved@utem.cl](mailto:msaaved@utem.cl) ; [pvergara@utem.cl](mailto:pvergara@utem.cl)*

<sup>2</sup> *LEAM Laboratori d'Enginyeria Acústica i Mecànica. Universitat Politècnica de Catalunya Colom, 11 08222 TERRASSA, Barcelona, Email: [ramon.capdevila@upc.es](mailto:ramon.capdevila@upc.es); [santiago.jimenez@upc.edu](mailto:santiago.jimenez@upc.edu)*

**RESUMEN:** Se efectúa un estudio, en el período de la mañana comprendido entre las 07 y 10 horas, que permita verificar los niveles de correlación que puedan existir entre las mediciones del nivel de presión sonora del ruido realizadas en un determinado ambiente urbano y las diferentes variables físicas que se determinan en el entorno donde se ha procedido a realizar las observaciones. Se han considerado como características del medio las siguientes variables: flujo de tránsito (tipo, frecuencia, características), altura de la construcción y perfil transversal de la calle (tipo L, J o U) del sector a medir. Las variables anteriormente señaladas en conjunto las mediciones en terreno del nivel de presión sonora continuo equivalente,  $L_{Aeq}(T)$  en un tiempo determinado y la medición de los percentiles  $L_{10}$  y  $L_{90}$  (ruido de fondo) complementan este estudio. La zona estudiada comprende algunas unidades censales, principalmente del sector nor-oriental de la comuna de Ñuñoa- Chile, sector que comprende el cuadrante formado por las avenidas Ossa, al oriente, Pedro de Valdivia, al poniente, Tobalaba, al norte, y Grecia, al sur. Se consideraron 15 variables, las que se identificaron como las más relevantes en este proceso de medición en terreno.

**KEYWORDS:** Ruido, Cluster, Sistema

## 1. INTRODUCCION

La medición de puntos en el cuadrante definido para la realización del estudio comprende zonas de características definidas, una primera zona comprende el sector de Avenida Ossa, avenida que forma parte de la circunvalación Américo Vespucio que comunica toda la ciudad mediante un gran anillo, por esta avenida discurre un flujo vehicular fluido y permanente, compuesto por buses de la locomoción colectiva, vehículos particulares, camiones y motos.

Un segundo sector corresponde a uso residencial, en el cual se encuentran principalmente calles de distribución y de destino final, el flujo vehicular en esta parte de la comuna es continuo a las horas de salida al trabajo y colegios y de regreso de estos lugares en la tarde, transformándose en forma intermitente al medio día y la noche, esta zona se encuentra comprendida en el interior del cuadrante en estudio.

El tercer sector se encuentra comprendido por la Avenida Grecia, en la zona estudiada esta avenida acoge a sectores residenciales, sedes universitarias, áreas recreativas, esta avenida tiene un flujo vehicular continuo y de gran volumen, debido a que es una arteria de 8 pistas, doble vía de circulación y conecta las comunas de Peñalolen, Ñuñoa y Santiago.

La cuarta zona se encuentra localizada en la Avenida Pedro de Valdivia, avenida que conecta las comunas de Providencia, Ñuñoa y Macul, comunas de alta densidad poblacional generando esto un flujo vehicular considerable durante todo el día. En la figura N° 1 se muestra el cuadrante descrito en los párrafos anteriores.



Figura 1: Cuadrante en estudio

La Figura 2, muestra la distribución geográfica de los puntos medidos en terreno dentro del cuadrante antes señalado. La base cartográfica corresponde a la cartografía 1:5000 del I.G.M. de Chile, el sistema geodésico corresponde al Datum Sudamericano de 1969 y la proyección cartográfica corresponde a la proyección UTM.

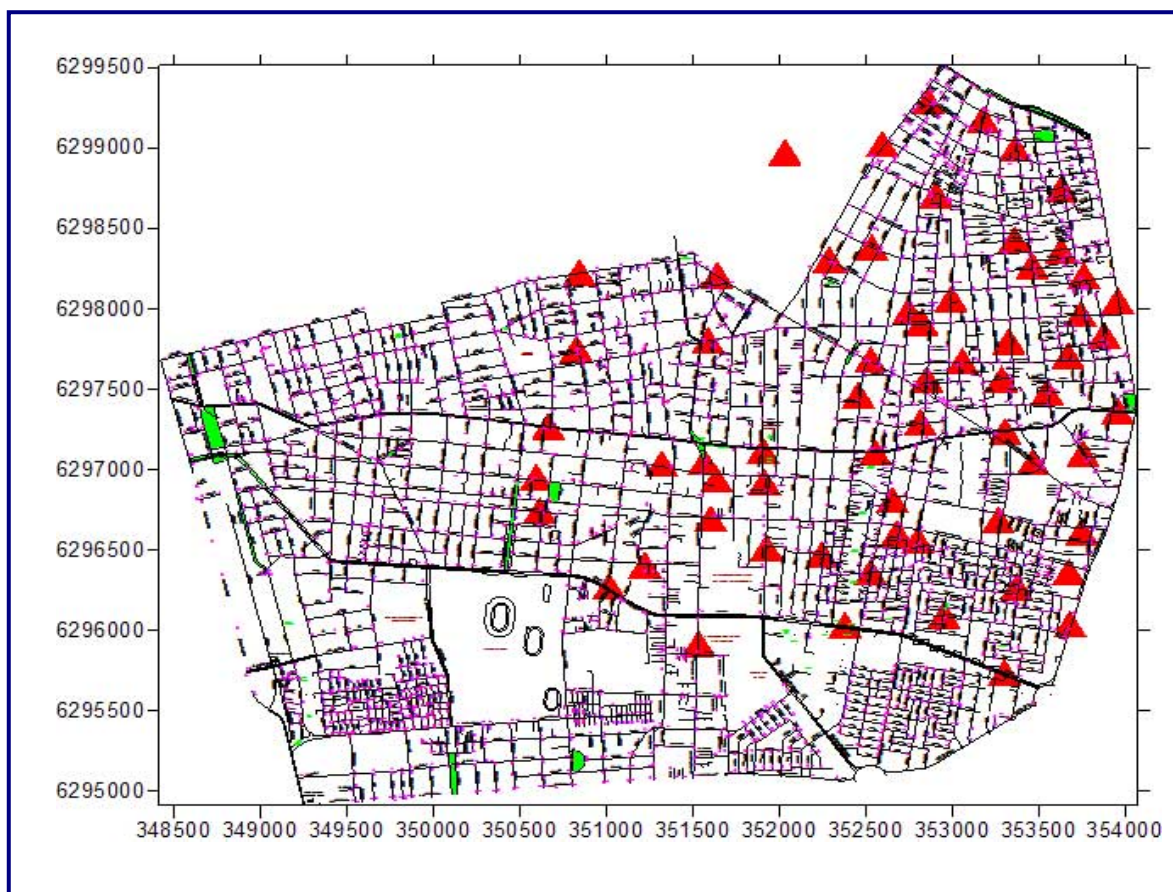


Figura 2: Localización geográfica de puntos

## 2. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES

En el estudio realizado se han considerado las variables que se mencionan en la tabla 1, estas fueron obtenidas en el transcurso de las mediciones realizadas en cada punto en terreno. Las variables V1 a V8 corresponden a las características urbanas de la zona en estudio, las variables V9 a V12 están relacionadas directamente con el tipo de circulación existente en la vía, la cuantificación del flujo vehicular y la clasificación de ellos, y las variables V13 a V15 corresponden a la medición en terreno del nivel de presión sonora del ruido tanto en la variable de  $L_{Aeq}(t)$  nivel de presión sonora continuo equivalente y los percentiles  $L_{10}$  y  $L_{90}$  (que definen el clima acústico).

Tabla 1: *VARIABLES CONSIDERADAS EN EL ANÁLISIS*

Variables	
V1	Tipo de la carpeta de rodado
V2	Estado de la calzada
V3	Ancho de calzada (m.)
V4	Ancho de acera (m.)
V5	Geometría de la calle
V6	Tipo de Calle
V7	Uso de la calle
V8	Altura edificación
V9	Tipo de Circulación
V10	Número de vehículos ligeros
V11	Número de vehículos pesados
V12	Número de motos
V13	$L_{Aeq}(t)$
V14	$L_{10}$
V15	$L_{90}$

Las variables se valorizaron considerando una escala de 1 a 4, en valores de menor ruido a mayor ruido, tal como se presentan en las tablas N° 2 a N° 16, en la que se puede apreciar como se asignaron estos valores a cada una de las variables en estudio.

Tabla N° 2: *Ponderación de variables según niveles*

Ponderación	1	2	3	4
V1	Asfalto Normal	Asfalto Poroso	Adoquines	Otros
V2	Buenas Condiciones	Irregularidades	Bandas rugosas	No asfalto
V3	11 a ...	6 a 10	4 a 6	0 a 3
V4	7 a 8 metros	5 a 6 metros	3 a 4 metros	0 a 2 metros
V5	Plano	J	L	U
V6	Destino	Distribución	Acceso	Eje transversal
V7	Residencial	Recreativo	Comercial	Industrial
V8	Sitio eriazo	Uno a dos pisos	Dos a tres pisos	Mas de tres pisos
V9	Intermitente	Continua	Fluida	Pulsativa - Acelerada
V10	0 a 20	21 a 50	51 a 100	101 a.....
V11	0 a 10	11- 20	21 a 30	31 a ....
V12	1 a 2	3 a 6	7 a 10	11 a ....
V13	40 a 50 dBA	51 a 60 dBA	61 a 70 dBA	71 dBA.....
V14	40 a 50 dBA	51 a 60 dBA	61 a 70 dBA	71 dBA.....
V15	40 a 50 dBA	51 a 60 dBA	61 a 70 dBA	71 dBA.....

Mediante el Software Statistica (versión 1995) se procedió a verificar los niveles de correlación que pueden existir entre las diferentes variables que determinan los niveles de presión sonora del ruido producidos en la zona en estudio [9] [4] [6]. A partir de la información obtenida en las 63 mediciones normalizadas de acuerdo a lo señalado en la Tabla N° 2, se obtiene la matriz de correlaciones, Tabla 3, que muestra los niveles de dependencia entre las variables.

Tabla N° 3: Matriz de correlaciones, los valores marcados en negrita son significativos con  $p < 0.05, n=63$ .

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15
V1	1	<b>0,66</b>	0,1	<b>0,31</b>	-0,06	-0,13	-0,17	-0,12	0,04	<b>-0,35</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,29</b>	<b>-0,28</b>	-0,19	<b>-0,38</b>
V2	<b>0,66</b>	1	<b>0,27</b>	<b>0,37</b>	0,08	<b>-0,32</b>	-0,23	-0,11	<b>-0,27</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,52</b>
V3	0,1	<b>0,27</b>	1	<b>0,28</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,46</b>	0,03	<b>-0,45</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,57</b>
V4	<b>0,31</b>	<b>0,37</b>	<b>0,28</b>	1	0,16	<b>-0,25</b>	<b>-0,31</b>	-0,01	<b>-0,36</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,27</b>	-0,25	<b>-0,4</b>	<b>-0,44</b>	<b>-0,36</b>
V5	-0,06	0,08	<b>0,36</b>	0,16	1	<b>-0,39</b>	-0,04	0,11	<b>-0,33</b>	-0,08	<b>-0,3</b>	<b>-0,33</b>	-0,19	-0,23	<b>-0,38</b>
V6	-0,13	<b>-0,32</b>	<b>-0,78</b>	<b>-0,25</b>	<b>-0,39</b>	1	<b>0,48</b>	0,02	<b>0,57</b>	<b>0,66</b>	<b>0,69</b>	<b>0,7</b>	<b>0,53</b>	<b>0,54</b>	<b>0,76</b>
V7	-0,17	-0,23	<b>-0,46</b>	<b>-0,31</b>	-0,04	<b>0,48</b>	1	-0,1	0,07	<b>0,28</b>	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>	<b>0,31</b>	0,25	<b>0,49</b>
V8	-0,12	-0,11	0,03	-0,01	0,11	0,02	-0,1	1	0,06	0,04	0,12	0,06	0,11	0,05	0,07
V9	0,04	<b>-0,27</b>	<b>-0,45</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,33</b>	<b>0,57</b>	0,07	0,06	1	<b>0,57</b>	<b>0,27</b>	<b>0,33</b>	<b>0,47</b>	<b>0,5</b>	<b>0,53</b>
V10	<b>-0,35</b>	<b>-0,56</b>	<b>-0,47</b>	<b>-0,44</b>	-0,08	<b>0,66</b>	<b>0,28</b>	0,04	<b>0,57</b>	1	<b>0,5</b>	<b>0,49</b>	<b>0,78</b>	<b>0,82</b>	<b>0,75</b>
V11	<b>-0,3</b>	<b>-0,41</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,27</b>	-0,3	<b>0,69</b>	<b>0,48</b>	0,12	<b>0,27</b>	<b>0,5</b>	1	<b>0,5</b>	<b>0,52</b>	<b>0,43</b>	<b>0,65</b>
V12	<b>-0,29</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,63</b>	-0,25	-0,33	<b>0,7</b>	<b>0,34</b>	0,06	<b>0,33</b>	<b>0,49</b>	<b>0,5</b>	1	<b>0,46</b>	<b>0,42</b>	<b>0,6</b>
V13	<b>-0,28</b>	<b>-0,49</b>	<b>-0,32</b>	<b>-0,4</b>	-0,19	<b>0,53</b>	<b>0,31</b>	0,11	<b>0,47</b>	<b>0,78</b>	<b>0,52</b>	<b>0,46</b>	1	<b>0,85</b>	<b>0,69</b>
V14	-0,19	<b>-0,4</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,44</b>	-0,23	<b>0,54</b>	0,25	0,05	<b>0,5</b>	<b>0,82</b>	<b>0,43</b>	<b>0,42</b>	<b>0,85</b>	1	<b>0,66</b>
V15	<b>-0,38</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,57</b>	<b>-0,36</b>	<b>-0,38</b>	<b>0,76</b>	<b>0,49</b>	0,07	<b>0,53</b>	<b>0,75</b>	<b>0,65</b>	<b>0,6</b>	<b>0,69</b>	<b>0,66</b>	1

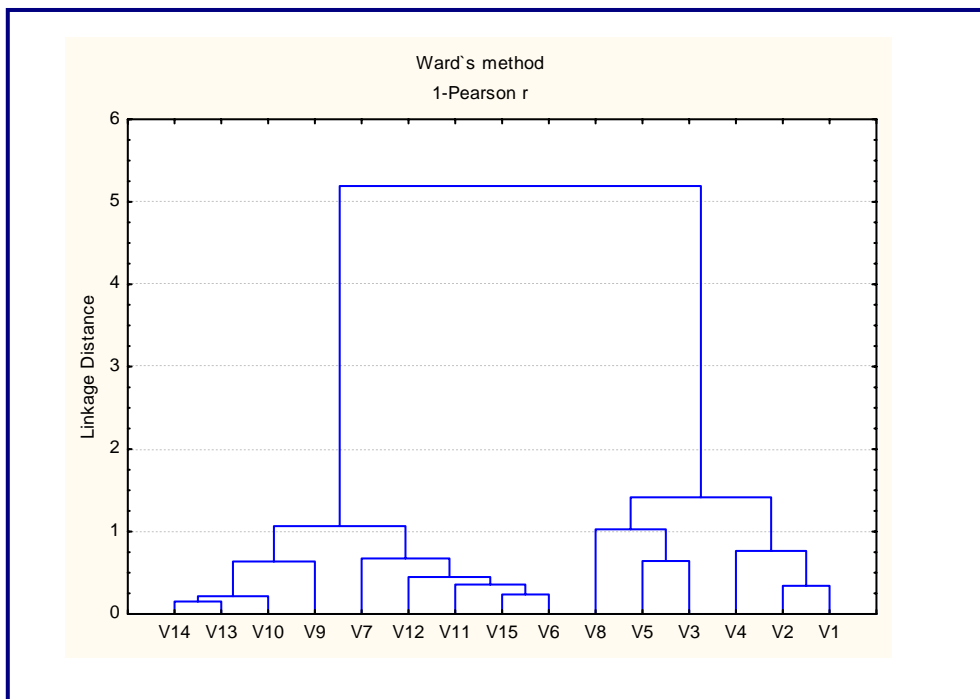


Figura N° 3: Cluster de las variables

En la Fig 3, se muestra el cluster de las variables, usando el método de Ward a partir de la matriz de correlaciones de las variables [5]. Se puede observar que existen dos grandes

agrupamientos: uno a la derecha y otro a la izquierda, este último muestra dos subdivisiones; uno indica que existe una relación directa entre las variables  $L_{10}$  con  $L_{Aeq,T}$ , y estas se asocian con el Número de vehículos ligeros, y ellas con el Tipo de Circulación. El segundo agrupamiento, vincula el Ruido de Fondo con el Uso de la Calle, los que a su vez se asocian con el Número de vehículos Pesados que por ella transitan, y el Número de Motos, todos los anteriores se relacionan con el Uso que tiene la Calle. El agrupamiento de la derecha también se subdivide en dos, en un sector se asocian las variables Tipo de Carpeta de Rodado con el Estado de la Calzada y estas con el Ancho de la Acera, y en el otro sector se asocian el Ancho de la Calzada con la Geometría de la Calle, y estas con la Altura de la Edificación.

### 3. CONCLUSIONES

Las dos grandes subdivisiones que presenta el análisis de Cluster (Fig 3) realizado en función de la matriz de correlaciones presentada en la tabla 3, entrega información del comportamiento de las diferentes variables respecto a la medición del nivel de presión sonora del ruido en un determinado ambiente [9]. Las condiciones ambientales son relevantes en la condición en que la variable relativa a la medida del nivel de presión sonora del ruido se puede medir, esto nos entrega señales de que la modelación de esta variable en un sector determinado tendrá que necesariamente estar vinculada a las condiciones que presenta el sistema urbano en el cual se pretende intervenir. Considerar sólo las características pertinentes a las variables que inciden directamente en el valor de  $L_{Aeq}$ , por ejemplo, en un determinado sitio podría inducir a errores en la predicción de esta, un modelo que se permitiera considerar en forma predominante las características del flujo vehicular así como su cuantificación horaria, estaría sesgando su potencial capacidad de ser una buena herramienta de predicción.

El sistema ruido en un determinado sector de la comunidad se encuentra determinado por una serie de variables que ejercen influencia unas con otras, se podría definir como un diagrama causal, en que cada una de las variables ejercen su influencia por la relación causa y efecto, lo que hace es necesario considerar que nunca hay influencias en una sola dirección [10].

Para ver la realidad bajo esta perspectiva necesariamente se tendrá que considerar que existen los círculos de influencia y no ver la acción de las variables como consecuencias de influencias en líneas rectas. En el sistema ruido las variables que en él se presentan tienen características propias, tiene capacidad de retroalimentación y se puede apreciar que son auto referentes, al presentar una identidad propia.

Cada calle, cada barrio, cada unidad censal es diferente y presenta sus propias identidades, el tratar de modelarlas es solamente una oportunidad de tomar las generalidades que ellas representan para tratar de identificarlas y representarlas en una expresión matemática que permita posteriormente graficarla, lo que permitirá finalmente interpretarlas.

El análisis de Cluster realizado en función de la matriz de correlaciones muestra que existen cuatro grupos de variables que presentan vinculaciones directas entre ellas y a su vez estos subgrupos se encuentran vinculados entre sí, definiendo estos subgrupos de derecha a izquierda siguiendo la figura 3, ellos indican que corresponden a:

- A) Ancho de la calzada, geometría de la calle y altura de la edificación.
- B) Tipo de carpeta de rodado, estado de la calzada y ancho de la acera.
- C)  $L_{Aeq}$ ,  $L_{10}$ , número de vehículos ligeros, tipo de circulación.
- D) Uso de la calle, número de motos, número de vehículos pesados,  $L_{90}$ , tipo de calle.



Definiendo un diagrama causal del sistema de ruido respecto a este agrupamiento de variables se puede expresar de la siguiente manera.

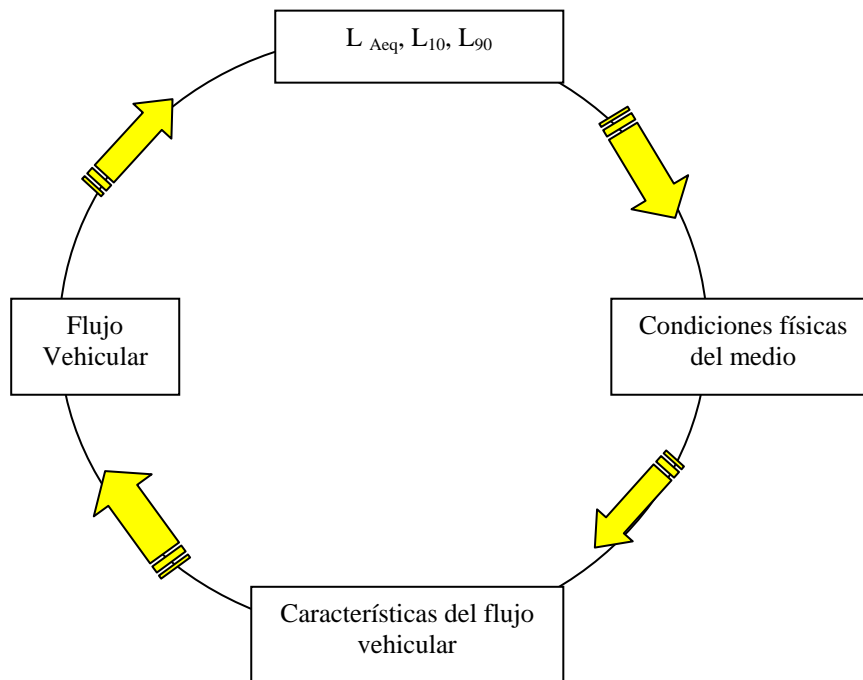


Figura 4: *Diagrama causal de sistema ruido*

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Avendaño, M. & Vergara, P. (2003). Atractividad y Posición Competitiva. Análisis multivariado de los matriculados en las Universidades chilenas del Consejo de Rectores. Editorial Universidad Tecnológica Metropolitana, 1ª Edición, Santiago, Chile
- [2] B. De Coensel, T. De Muer, I. Yperman & D. Botteldooren The influence of traffic flow dynamics on urban soundscapes. Applied Acoustics 66(Febrero 2005) 175-194.
- [3] C.J. Skinner & C.J. Grimwood The UK noise climate 1990-2001 population exposure and attitudes to environmental noise. Applied Acoustics 66(Febrero 2005) 231
- [4] Hair, J.F., et al (1998). Multivariate Data Analysis, Ed. Prentice Hall, Fifth Edition, New Jersey, USA.
- [5] Jorba, O., Perez, C., Rocadenbosch F. & Baldasano JM. Cluster analysis of 4-day back trajectories arriving in the Barcelona area, Spain, from 1997 to 2002. Journal of Applied Meteorology 43 (6): 887-901 JUN 2004.
- [6] Peña, D. Análisis de Datos Multivariante, Ed. Mc Graw-Hill, España.
- [7] Picaut, T. Le Pollès, P.L'hermite, V.Gary Experimental study of sound propagation in a street. Applied Acoustics 66 (Febrero 2005) 149-173.
- [8] P.J. Thorsson & M. Ögren. Macroscopic modelling of urban traffic noise- influence of absorption and vehicle flow distribution. Applied Acoustics 66 (Febrero 2005) 195-209
- [9] Saavedra, M., R. Capdevila, P. Vergara & S. Jiménez (2005). Análisis multivariable de mediciones de nivel de ruido. España, Terrasa (octubre 2005) Tecniacustica
- [10] Sengue P.M. (1990). La Quinta Disciplina. Ed. Granica/Vergara, 5ª Edición. Argentina, Buenos Aires, cap5.