

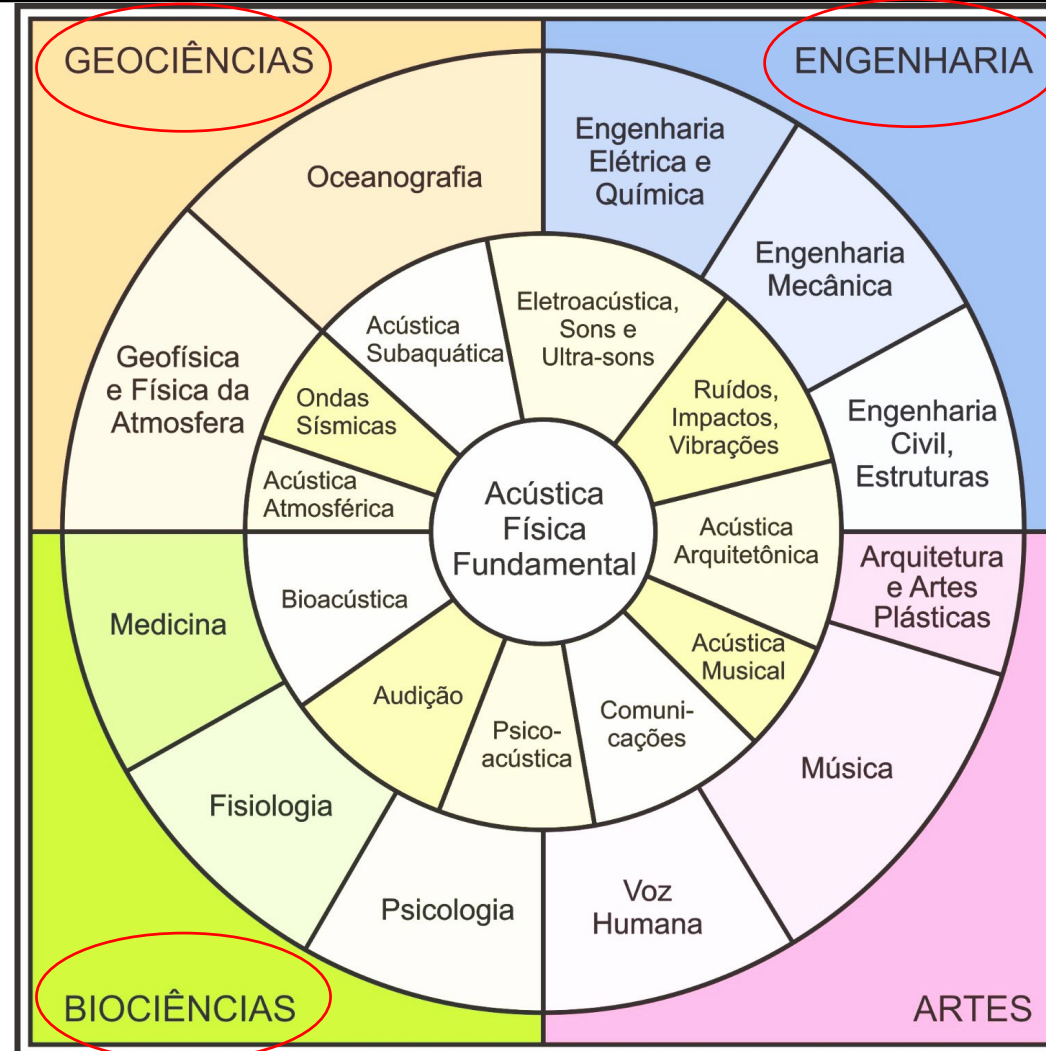
Ruido Ambiental en las ciudades: lecciones aprendidas y desafíos futuros

Jorge P. Arenas, PhD
LABACAM, Instituto de Acústica,
Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile
jparenas@uach.cl

Introducción

- Ruido Ambiental

Sonido exterior no deseado o perjudicial creado (en general), por fuentes antropogénicas



Introducción

- Primera ordenanza sobre el ruido: Siglo sexto AC



Source: Britannica

Introducción

- Primera ordenanza sobre el ruido: Siglo sexto AC
- Primera regulación sobre el ruido: 44 AC



Source: Realm of history

Introducción

- Primera ordenanza sobre el ruido: Siglo sexto AC
- Primera regulación sobre el ruido: 44 AC
- Antigua recomendación para mitigar el ruido: aprox. 1790



Source: Dreamstime.com

Introducción

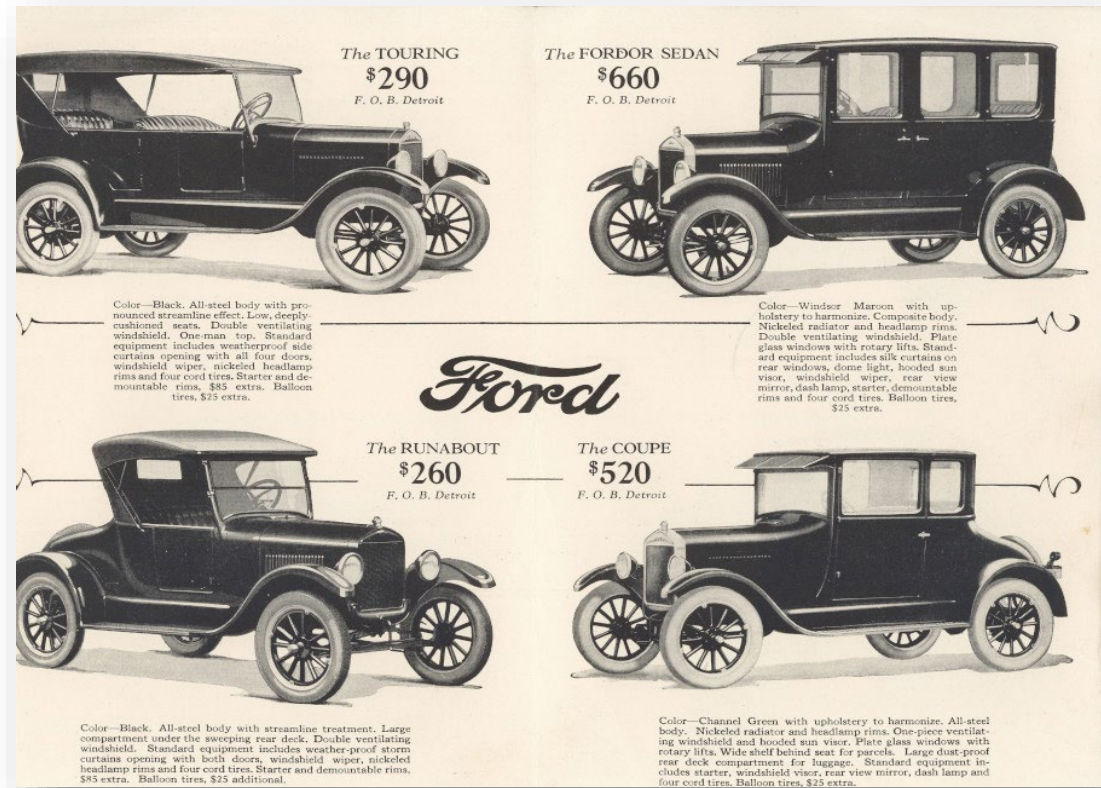
- Revolución Industrial (1760 a 1840). Comenzó en Gran Bretaña y se expandió a otras partes del mundo. Más ruido y mayor población expuesta.



Source: WordPress.com

Introducción

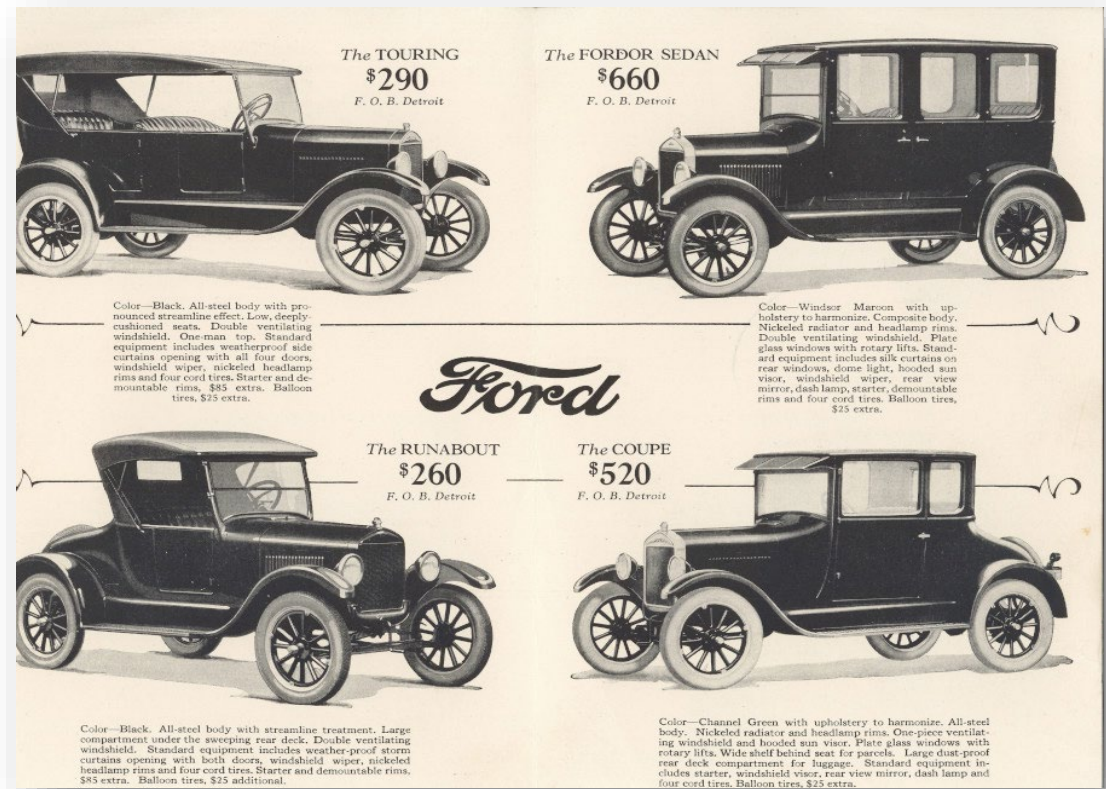
- Revolución Industrial (1760 a 1840). Comenzó en Gran Bretaña y se expandió a otras partes del mundo. Más ruido y mayor población expuesta.
- Introducción del modelo T por Ford (1908). Expansión de nuevas carreteras, mayores flujos de tránsito y más ruido...



Source: MotorCities National Heritage Area

Introducción

- Revolución Industrial (1760 a 1840). Comenzó en Gran Bretaña y se expandió a otras partes del mundo. Más ruido y mayor población expuesta.
- Introducción del modelo T por Ford (1908). Expansión de nuevas carreteras, mayores flujos de tránsito y más ruido...
- **RUIDO URBANO**



Source: MotorCities National Heritage Area

Métricas y descriptores del ruido



Métricas y descriptores del ruido

NPS continuo equivalente

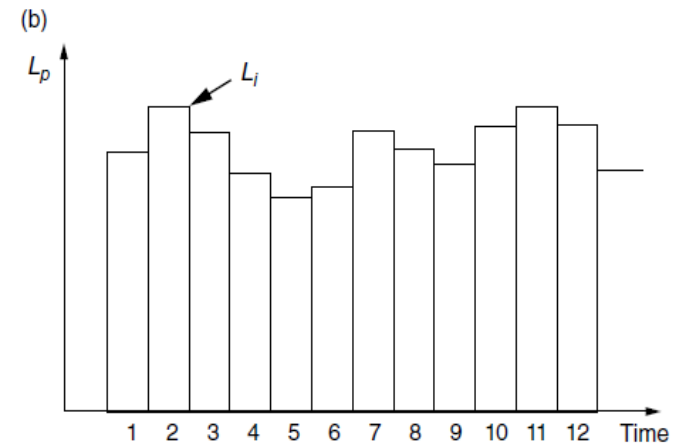
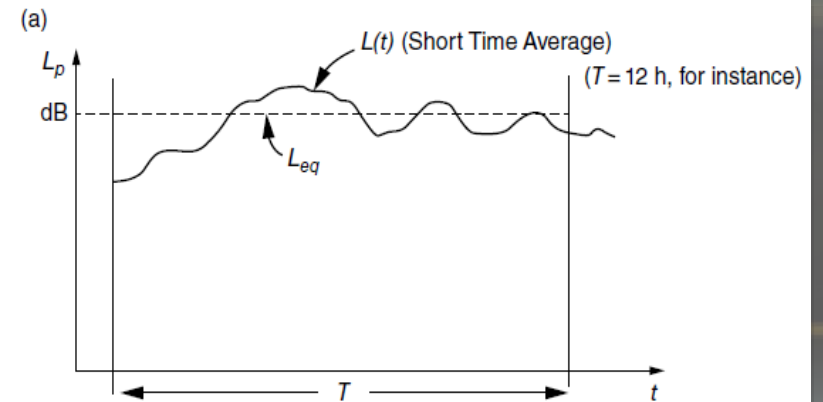
$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T p_A^2 dt / p_{ref}^2 \right) = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \right) = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right)$$

Nivel equivalente día-noche

$$L_{dn} = 10 \log \frac{15(10^{L_d/10}) + 9(10^{(L_n + 10)/10})}{24}$$

07:00 – 22:00
molestia

22:00 – 07:00
Alteración del
sueño



Métricas y descriptores del ruido

NPS continuo equivalente

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T p_A^2 dt / p_{ref}^2 \right) = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L(t)/10} dt \right) = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right)$$

Nivel equivalente día-noche

$$L_{dn} = 10 \log \frac{15(10^{L_d/10}) + 9(10^{(L_n + 10)/10})}{24}$$

Nivel equivalente día-tarde-noche

$$L_{den} = 10 \log \frac{12(10^{L_d/10}) + 4(10^{L_e/10}) + 8(10^{L_n/10})}{24}$$

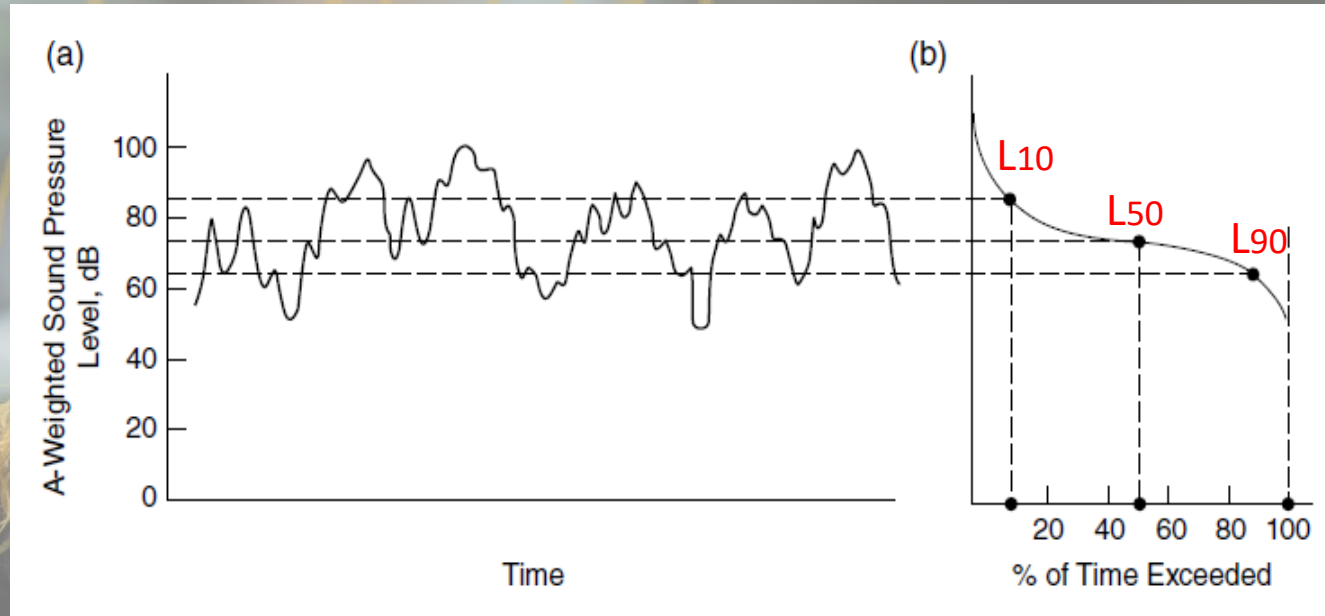
Parte del día	Horas	Penalización (dB)
Día	07:00 - 19:00	0
Tarde	19:00 - 23:00	5
Noche	23:00 - 07:00	10

Métricas y descriptores del ruido

NPS Percentiles (Niveles Estadísticos del Ruido)

El nivel L_n se define para representar el NPS excedido en $n\%$ del tiempo

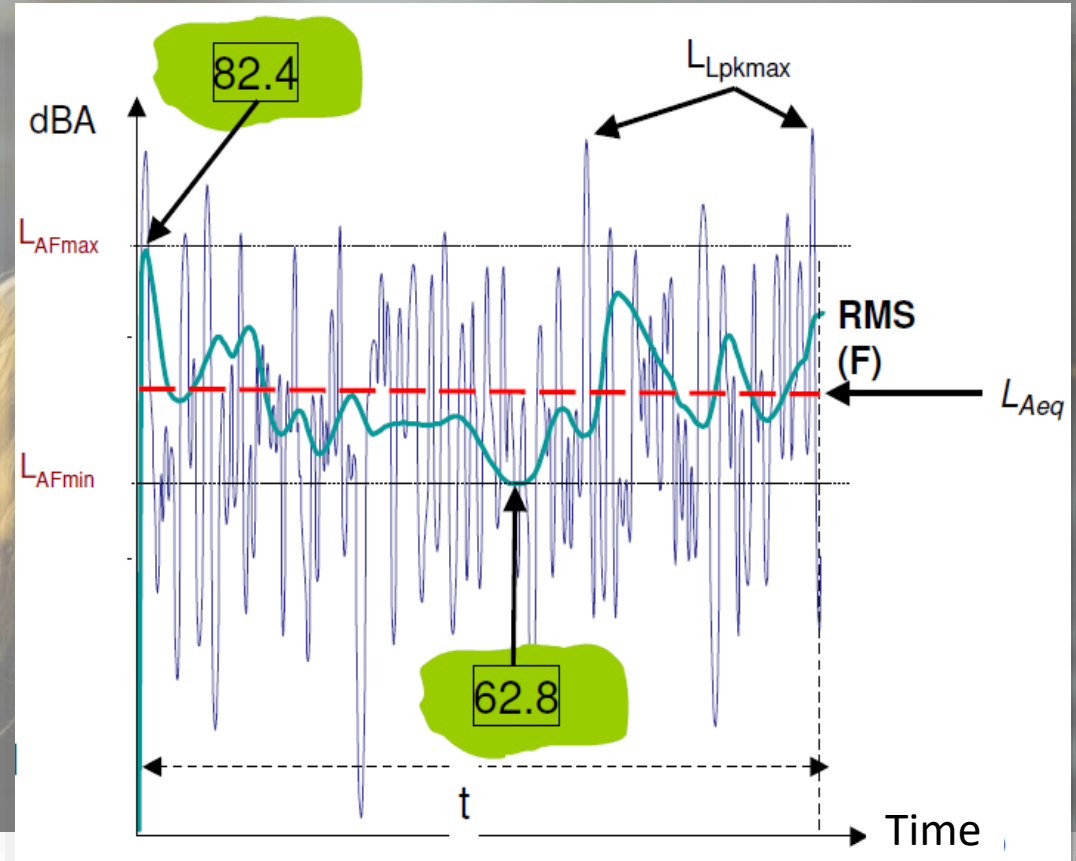
- L_1 representa eventos de corta duración
- L_{50} es el nivel de ruido medio
- L_{90} es el nivel de ruido de fondo



Métricas y descriptores del ruido

Otras medidas en un periodo

- $L_{\max}$ (nivel de ruido máximo)
- $L_{\min}$ (nivel de ruido mínimo)
- L_{peak} (nivel de ruido peak)



Fuentes de ruido ambiental en ciudades

Principales fuentes:

- Tránsito rodado (camiones, autos y motocicletas)
- Aviones/ruido de aeropuertos
- Ruido ferroviario
- Ruido de construcción
- Ruido de industria liviana y pesada
- Ruido de actividades recreativas

Ruido de tránsito es el más importante en las ciudades modernas.



Fuentes de ruido ambiental en ciudades

Pandemia de Covid-19:

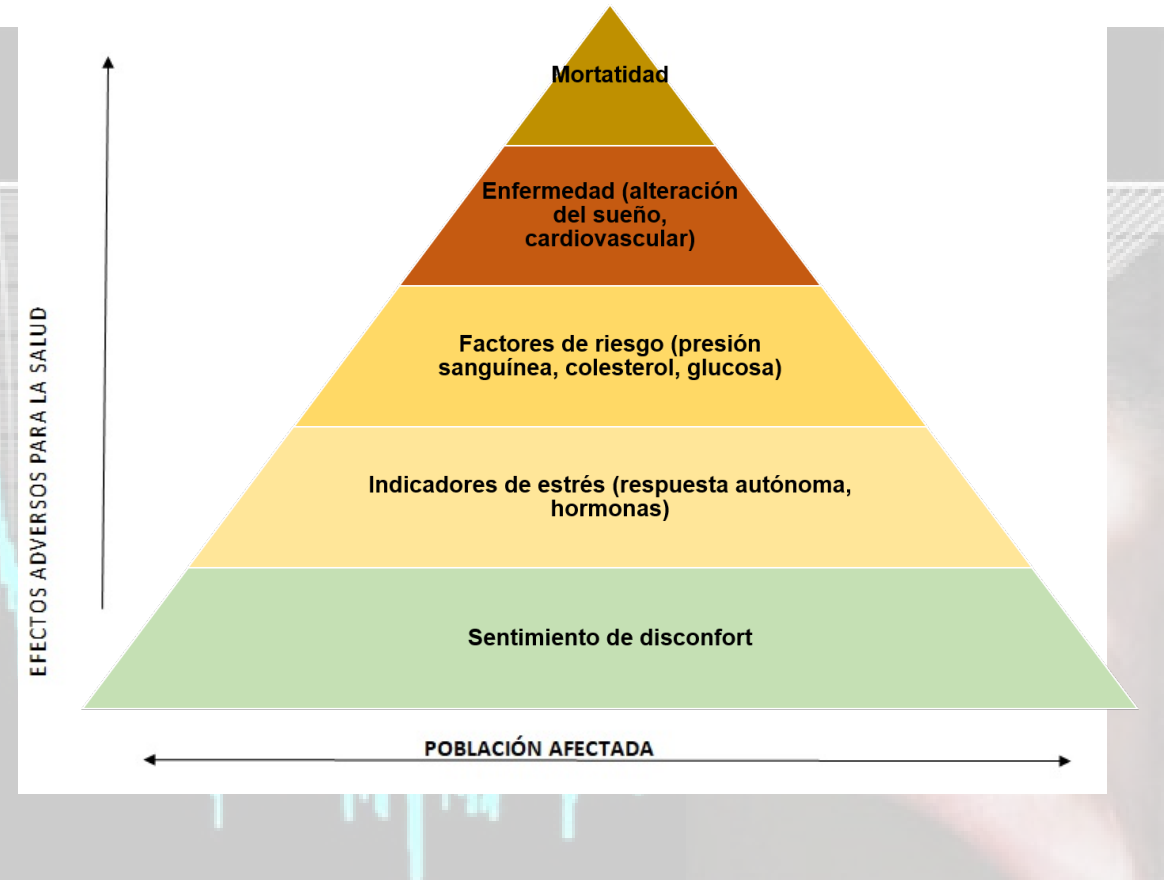
- Cuarentenas cambiaron los paisajes sonoros
- Ciudades más silenciosas
- Inusual aparición de fauna salvaje

Reducciones de $L_{den} = 7.6$ dBA en vías de París, 9-11 dBA en Barcelona, y 21.5 alrededor del aeropuerto de París.



Efectos del ruido ambiental: en la salud

- Molestia
- Percepción de una menor calidad de vida
- Alteración del sueño:
 - puede dar lugar a un sueño más perturbado y de menor calidad
 - puede despertar a la persona
- Efectos inmediatos
- Efectos al día siguiente
- Estrés y efectos cardiovasculares
- Diabetes tipo 2

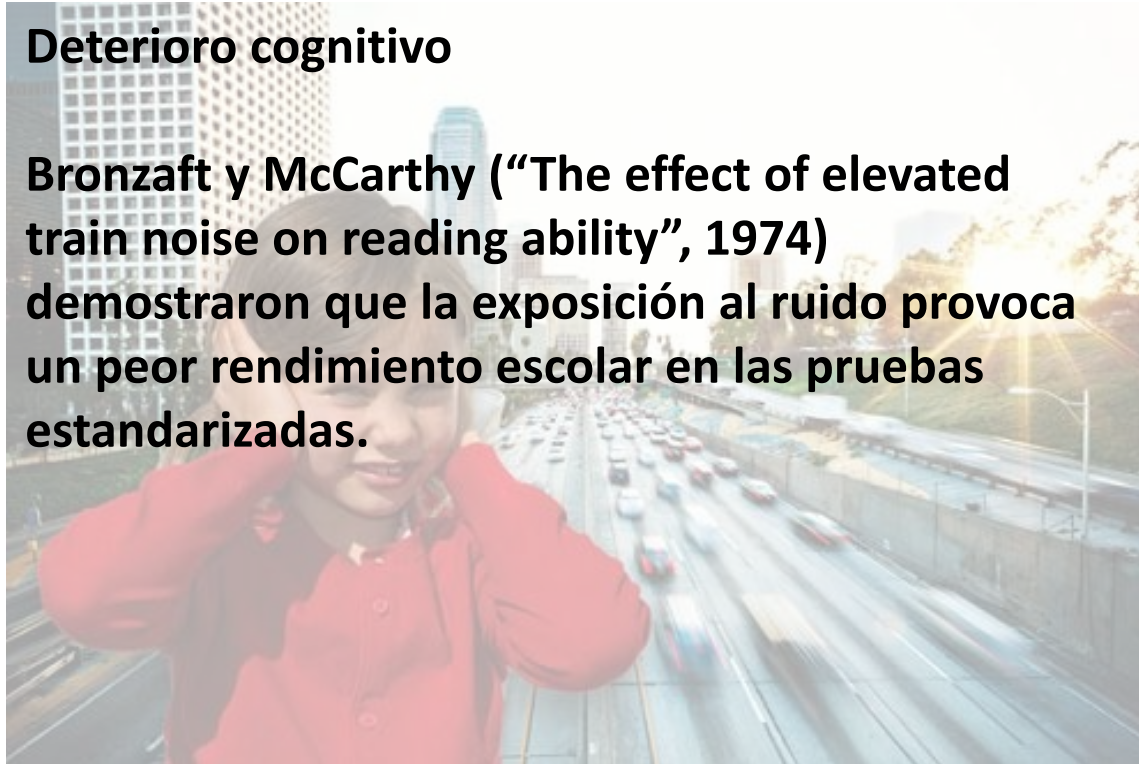


Pirámide de la OMS sobre la severidad de los efectos del ruido en la salud y el número de personas afectadas

Efectos del ruido ambiental: en la salud

Deterioro cognitivo

Bronzaft y McCarthy (“The effect of elevated train noise on reading ability”, 1974) demostraron que la exposición al ruido provoca un peor rendimiento escolar en las pruebas estandarizadas.



Efectos del ruido ambiental: en la salud

En Europa (2019)

48,000 nuevos casos de enfermedades cardíacas
anualmente

12,000 muertes prematuras

21 millones sufren grandes molestias

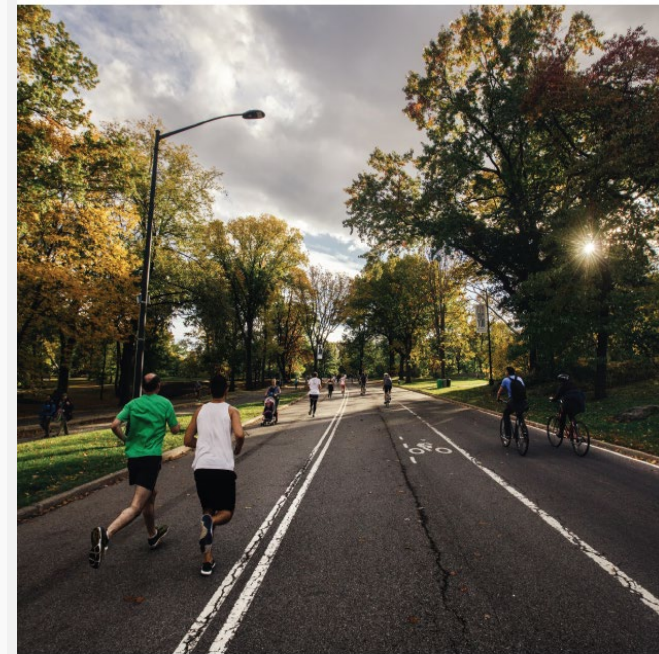
6,5 millones sufren de trastornos del sueño

12,500 escolares sufren problemas de aprendizaje
debido al ruido de aviones

EEA Report | No 21/2019

Healthy environment, healthy lives:
how the environment influences health
and well-being in Europe

ISSN 1977-8449



Efectos de ruido Ambiental: socio-económicos

- Costos sociales del impacto del ruido en la salud
- Devaluación de los precios de las propiedades
- Pérdida de productividad
- Costo de los daños causados por el ruido de las carreteras y el ferrocarril en la UE: 40.000 millones de euros (0,4% del PIB de la UE)



0.4 - 0.5% por
1 dB(A)

Modelos de predicción del ruido ambiental



Modelos de predicción del ruido ambiental

Dos escalas:

- Niveles de la fuente de ruido (emisión)
- Niveles ambientales (inmisión sonora)

Pueden dividirse en:

- Modelos teóricos y semi-analíticos
- Modelos empíricos con el uso de técnicas gráficas (Guías de diseño)
- Modelización numérica asistida por computador (FFP, PE, BEM, etc.)

Se han desarrollado modelos de predicción para:

- Ruido de tráfico rodado
- Ruido de ferrocarril
- Ruido de aviones
- Ruido industrial
- Ruido de la construcción
- Otras fuentes (vehículos acuáticos, campos de tiro, turbinas eólicas)

Modelos de predicción del ruido ambiental



Modelos de predicción del ruido ambiental

Tránsito rodado	Ferroviario	Aviación	Industrial
NMPB-Routes-96	RMR, SRM II	DIN 45684	ISO 9613-2, VBUI
RLS-90, VBUS	Schall 03 (1990), VBUSch	AzB 2008 / ICAN	CONCAWE
RLS-19	Schall03 2014	ÖAL 24	VDI 2714/ 2720
DIN 18005	DIN 18005	ECAC Doc. 29 2 nd Edition	DIN 18005
RVS 04.02.11	ONR 305011	ECAC Doc. 29 3 rd Edition	ÖAL Richtlinie Nr. 28
STL 86	Semibel	ECAC Doc. 29 4 th Edition	BS 5228
SonRoad	NMPB-Fer	Integrated Noise Method (INM 7.0d)	Nordic General Prediction Method
SonRoad 18	CRN	AzB 75	Nord 2000
CRTN	TemaNord 1996:524	CNOSSOS-EU	Ljud från vindkraftverk
TemaNord 1996:525	FTA/FRA 2018	CNOSSOS-Germany (BUB)	Harmonoise, P2P calculation model
Czech Method	NMPB08-Fer		NMPB08-Industry
NMPB-Routes-08	CNOSSOS-EU		CNOSSOS-EU
TNM	CNOSSOS-Germany (BUB)		CNOSSOS-Germany (BUB)
CNOSSOS-EU	CNOSSOS-Austria		CNOSSOS-Austria
CNOSSOS-Germany (BUB)			HJ2.4-2009
CNOSSOS-Austria			Schall 03 (2014)
HJ2.4-2009			

Regulaciones del ruido

- Límites del ruido ambiental

Maximum permitted levels of Corrected SPL in dBA (slow)		
Zone	Day (07:00 – 21:00)	Night (21:00 – 07:00)
I	55	45
II	60	45
III	65	50
IV	70	70
Rural	Lower value between: • Background level + 10 dBA • CSPL for Zone III	

- Dependen del uso del terreno, hora del día, y correcciones por ruido de fondo, tonos puros, ruido de baja frecuencia, y fuentes impulsivas.

Regulaciones del ruido y legislación

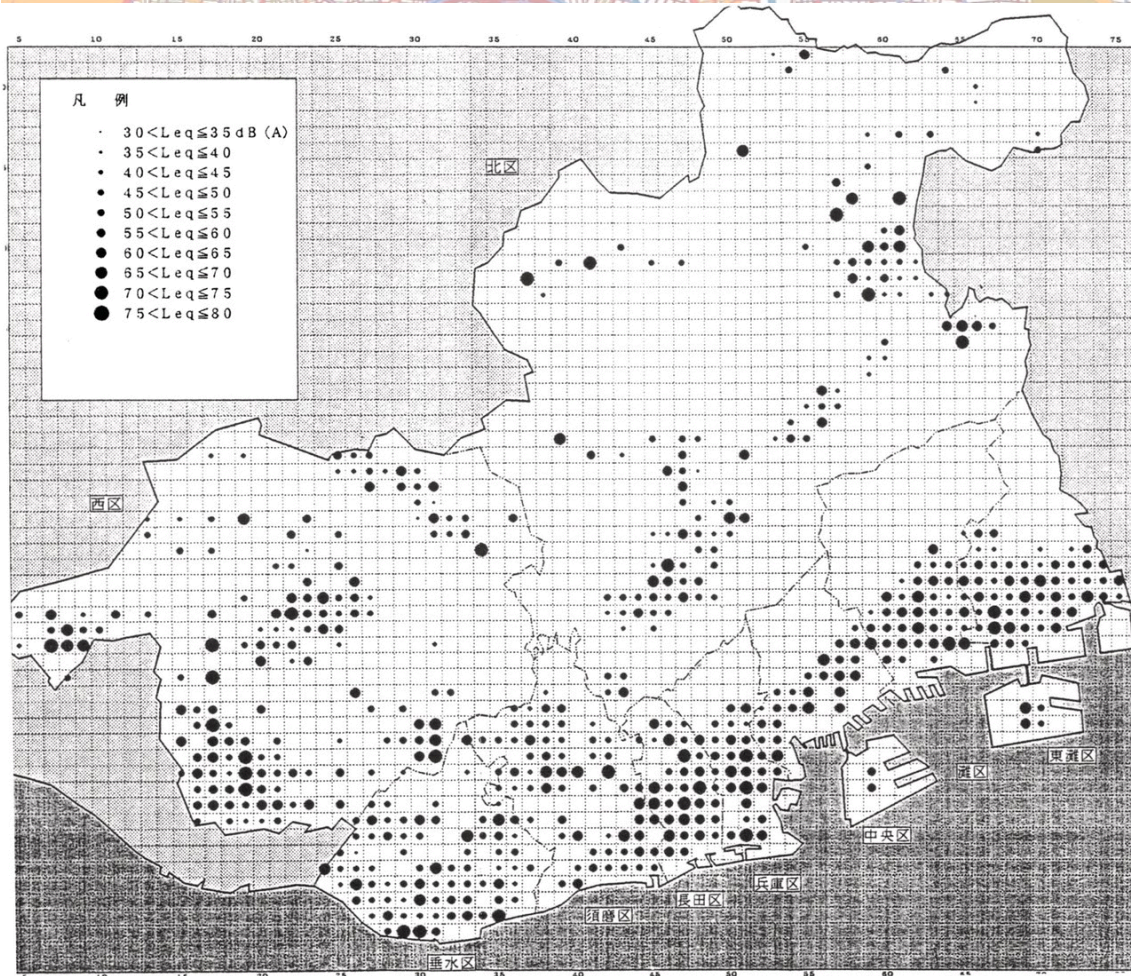
- the ICAO The International Civil Aviation Organization
- the UNECE The United Nations Economic Commission for Europe
- the OECD The Organization for Economic Co-operation and Development
- the WHO The World Health Organization.
- ISO 1996 (1982, currently 2016)
- Green Paper (1996)
- Fifth Environmental Action Programme (1998)
- EU Directive/49/2002 (END)
- Sixth EAP Environment (2010)
- Directive EU 2015/996 (2015)

Common
Noise Assessment Methods
in Europe (CNOSSOS-EU)

Mapas de ruido



Mapas de ruido



Tsukiyama, A., Takagi, N., Matsui, M. et al. (1991). Analysis of environmental noise in Nagano City

Source: S. Kurra, Environmental Noise and Management: Overview from Past to Present, Wiley, 2021.

Mapas de ruido



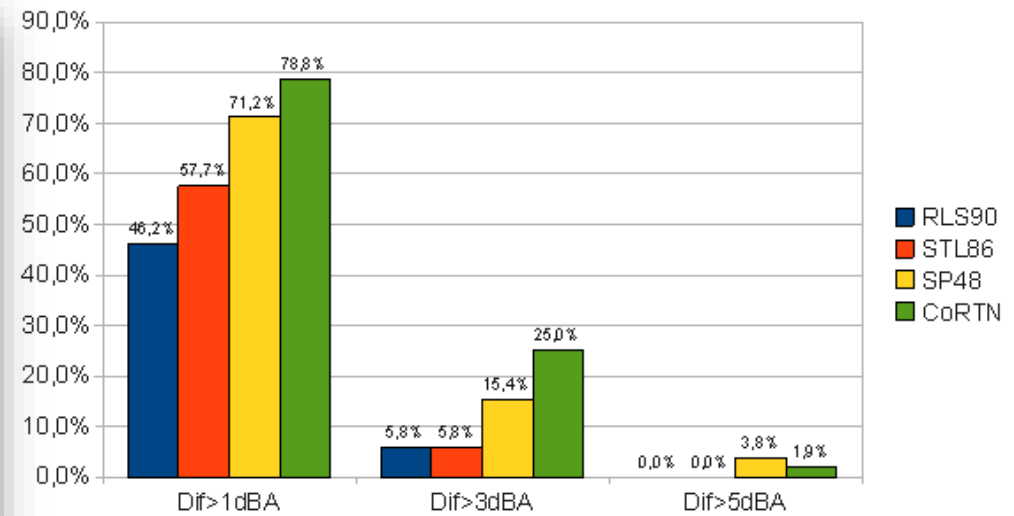
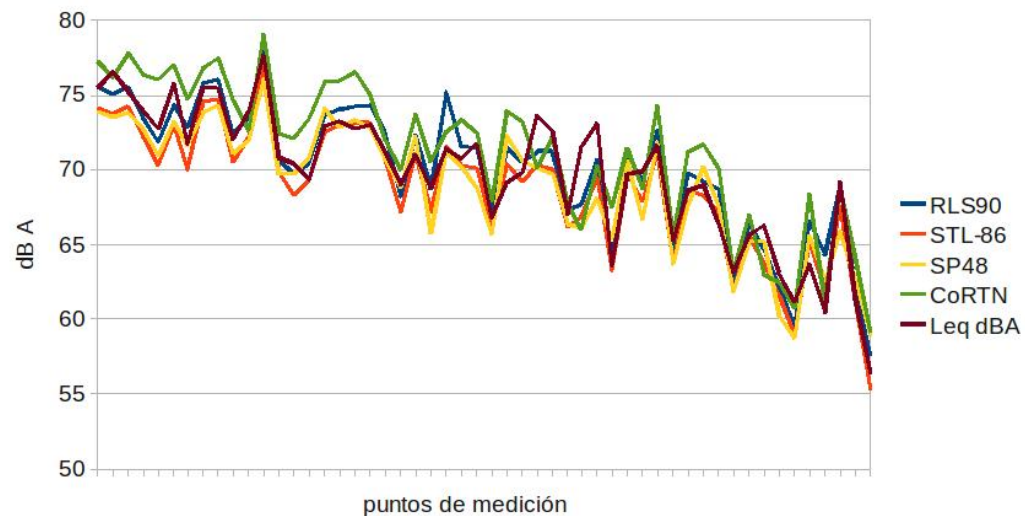
Mapa de ruido 3D de Hong Kong

Source: South China Morning Post

- La precisión de los resultados depende de la calidad de los datos de entrada.
- Las tareas más difíciles son
 - Recolección de datos,
 - Creación de modelos útiles de la red de calles,
 - Un buen modelo digital del terreno (DTM).
- La selección de un modelo de predicción requiere la validez de los resultados calculados.

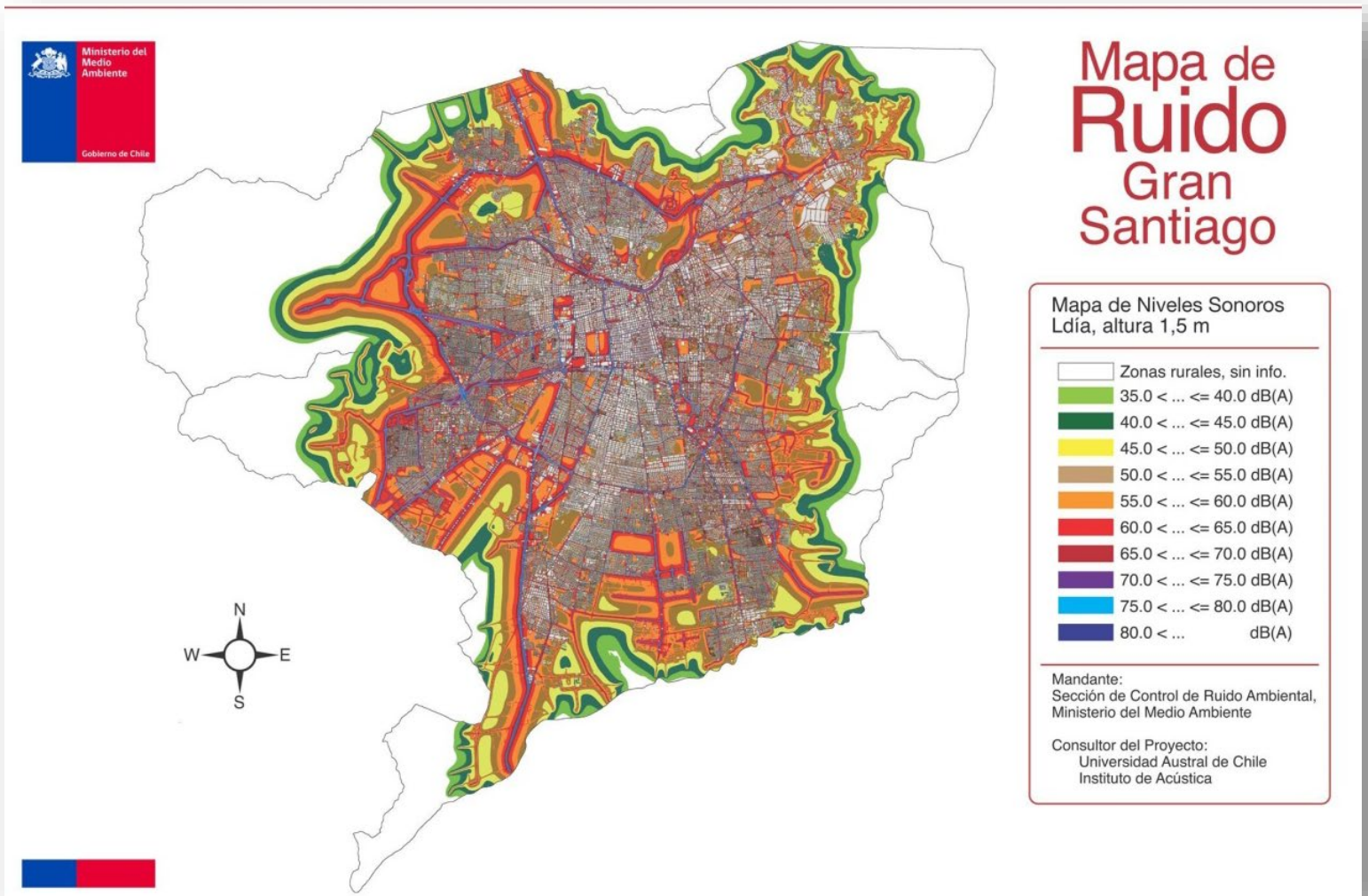
Mapas de ruido

- El modelo alemán RLS-90 y el modelo suizo STL-86 informaron de que más del 94% de los puntos de medición presentaban una desviación inferior o igual a 3 dBA.
- El RLS-90 mostró que más del 50% de las diferencias entre los niveles medidos y los calculados eran inferiores a 1 dBA (94,2% menos de 3 dBA).

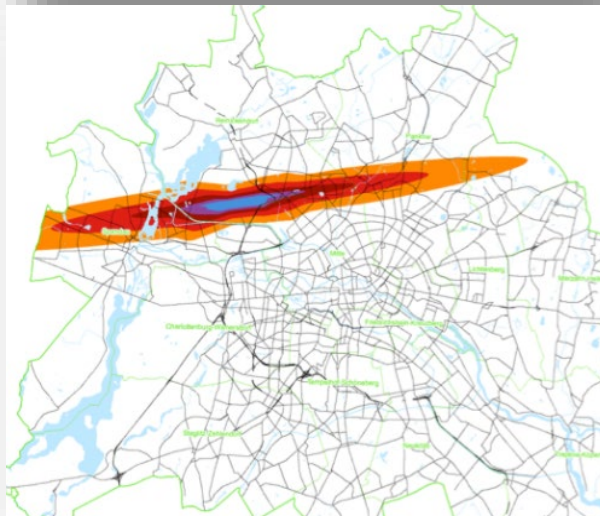
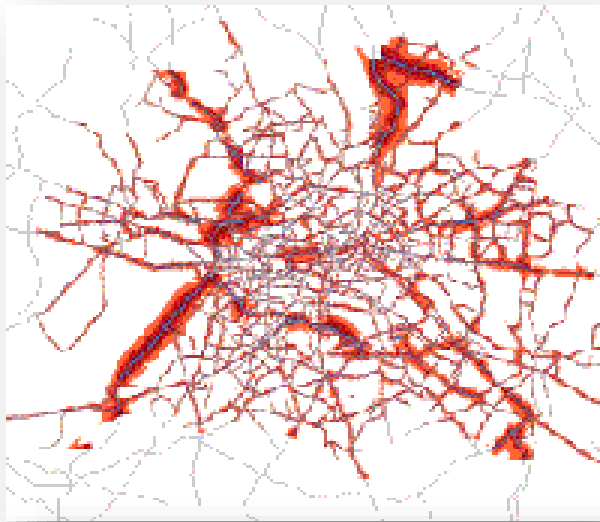


Mapas de ruido

- Dos tipos de mapas de ruido se definen en la END:
 - Mapas de ruido Ambiental
 - Mapas de ruido estratégicos
- UE: mapas de ruido obligatorios y actualizables cada cinco años.



Mapas de ruido



Tab. 4: Number of people impacted in their homes due to road traffic noise on all streets assessed (based on the noise index L_{DEN})

Level range L_{DEN} in dB(A)	> 55 to 60	> 60 to 65	> 65 to 70	> 70 to 75	> 75
Number of persons	223,200	170,900	160,700	104,200	5,500

Table 4: Number of people impacted in their homes due to road traffic noise on all streets assessed (based on the noise index L_{DEN})

Image: Umweltatlas Berlin

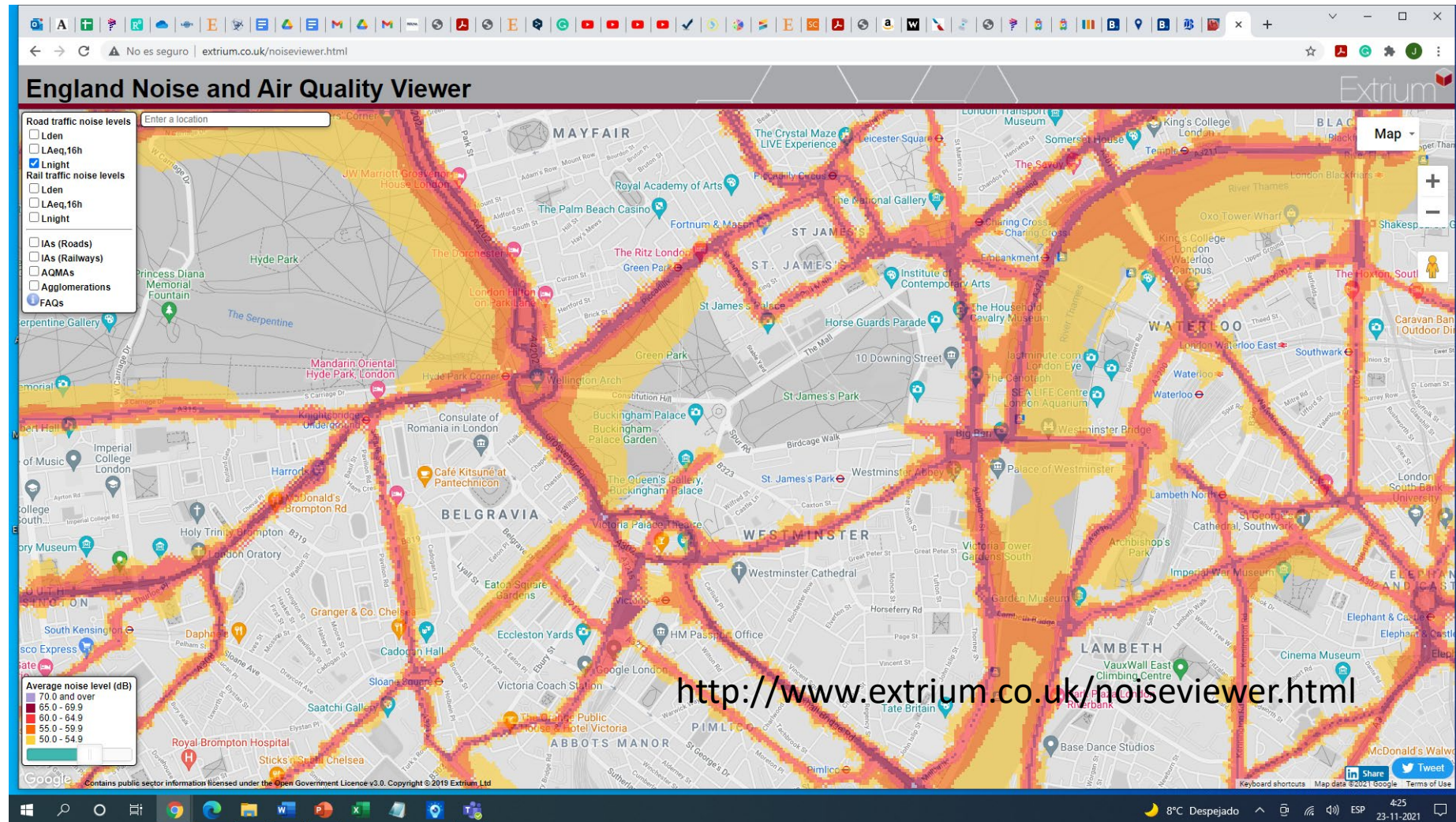
Tab. 13: Number of people impacted in their homes due to aircraft noise from Berlin-Tegel Airport (2015) (based on the noise index L_{DEN})

Level range L_{DEN} in dB(A)	> 55 to 60	> 60 to 65	> 65 to 70	> 70 to 75	> 75
Number of persons	141,900	108,600	22,800	2,500	0

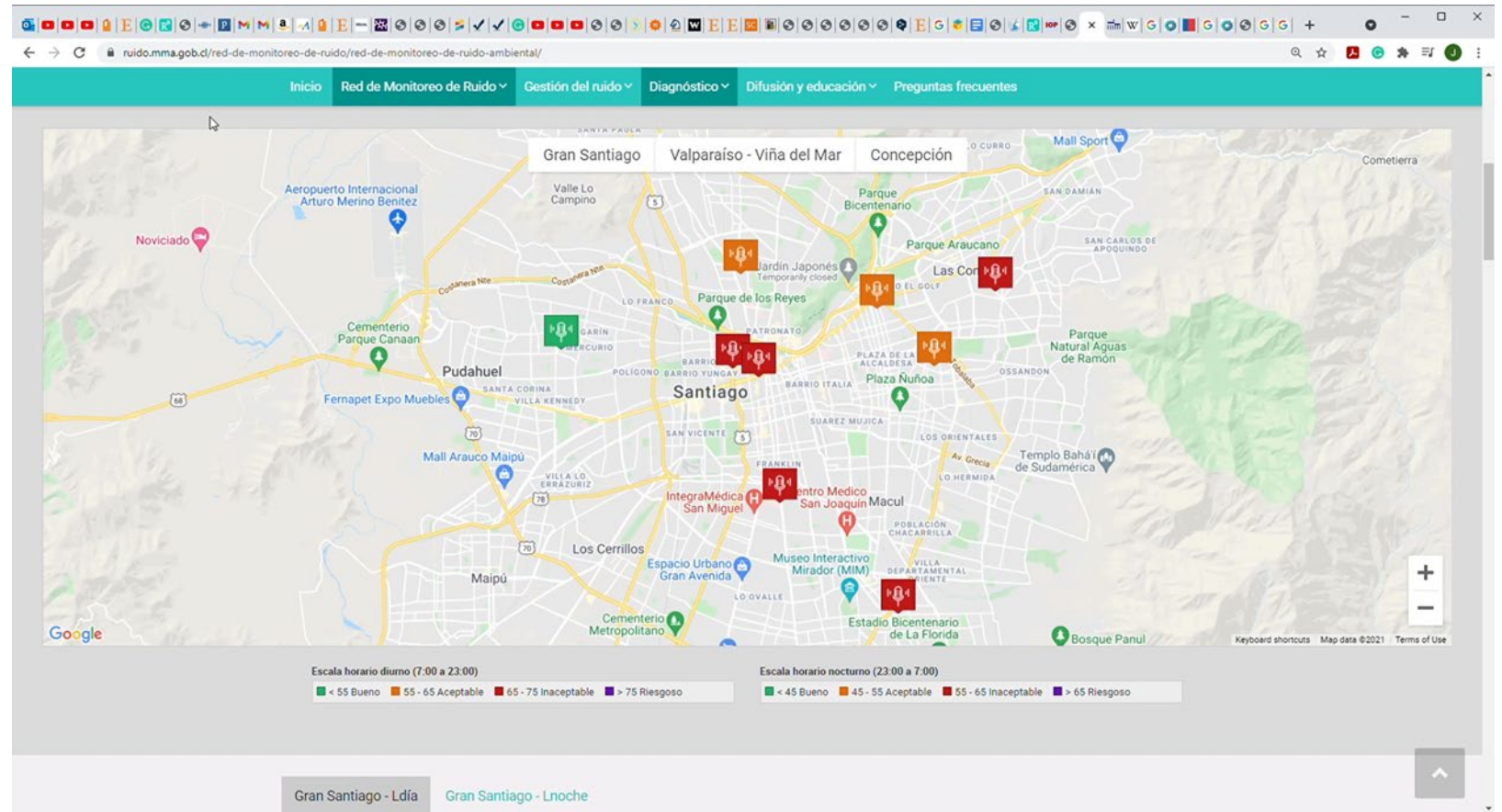
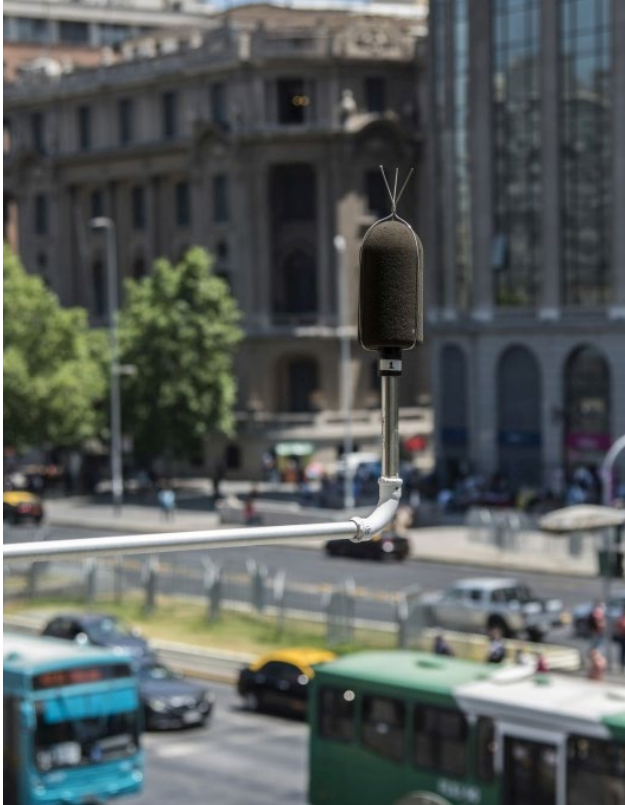
Table 13: Number of people impacted in their homes due to aircraft noise from Berlin-Tegel Airport (2015) (based on the noise index L_{DEN}).

Image: Umweltatlas Berlin

Mapas de ruido



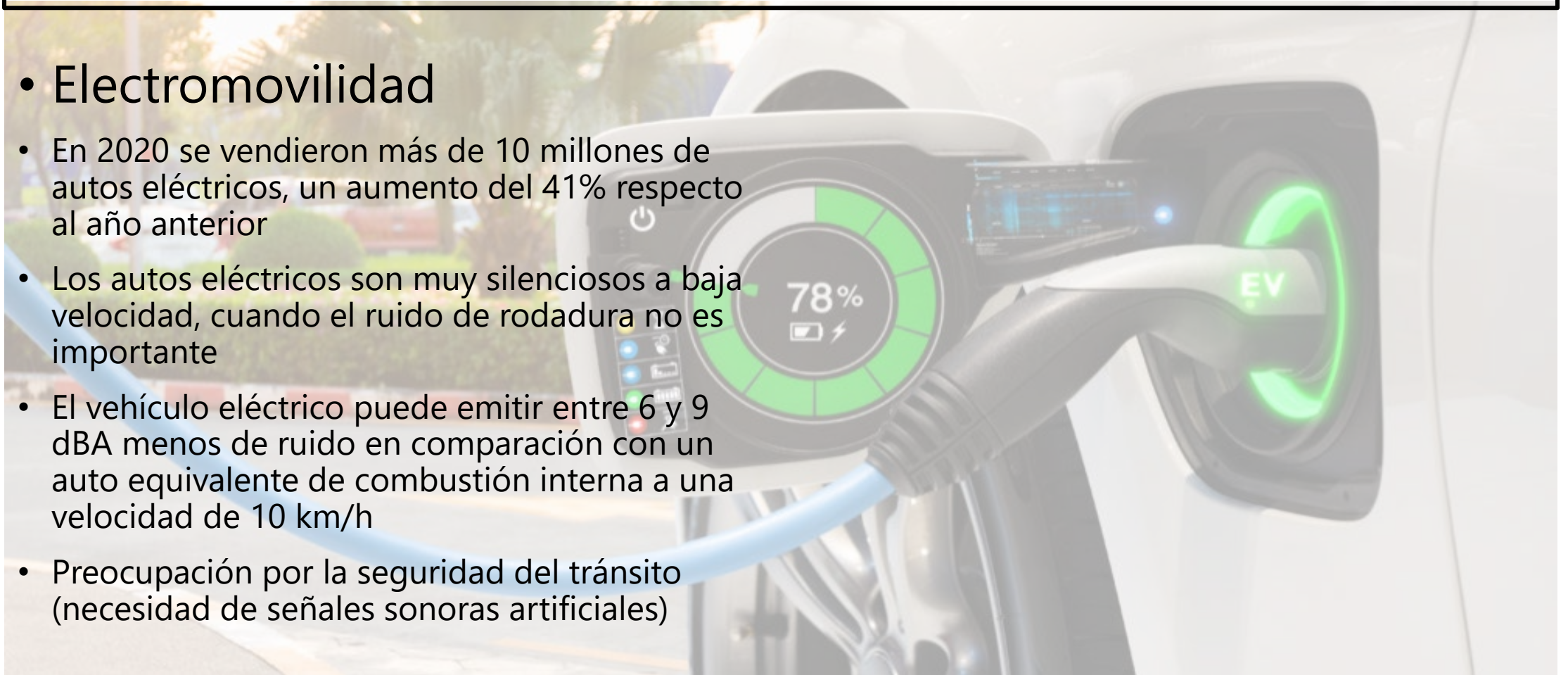
Mapas de ruido dinámicos



Y ¿qué nos depara el futuro?

- Electromovilidad

- En 2020 se vendieron más de 10 millones de autos eléctricos, un aumento del 41% respecto al año anterior
- Los autos eléctricos son muy silenciosos a baja velocidad, cuando el ruido de rodadura no es importante
- El vehículo eléctrico puede emitir entre 6 y 9 dBA menos de ruido en comparación con un auto equivalente de combustión interna a una velocidad de 10 km/h
- Preocupación por la seguridad del tránsito (necesidad de señales sonoras artificiales)



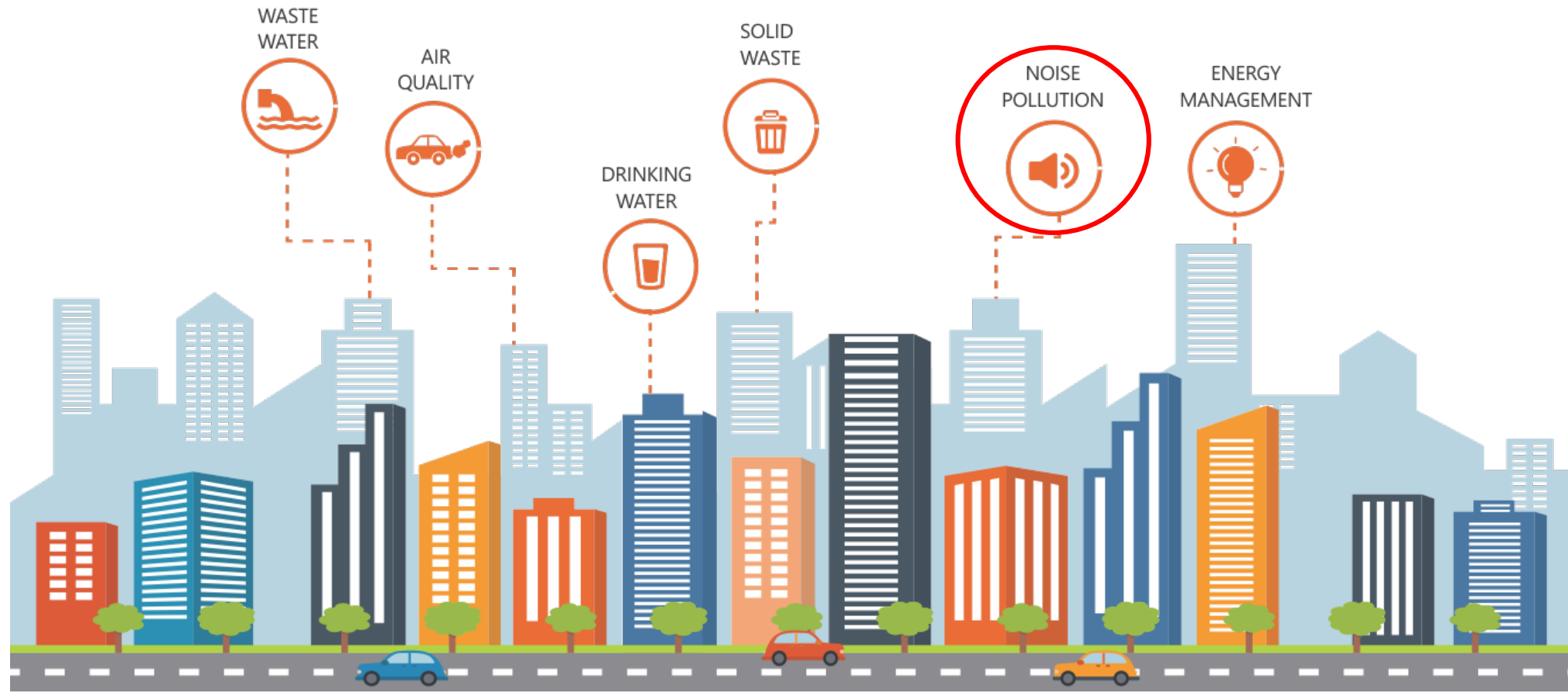
Paisajes sonoros

- Un tema de investigación actual
- ISO 12913 (partes 1, 2 y 3)
- Los entornos con ruido tienden a inducir emociones negativas
- Es muy importante crear un entorno acústico confortable
- Podría ayudar a los planificadores urbanos a diseñar ciudades con mejor calidad de vida (zonas tranquilas accesibles al público en general)

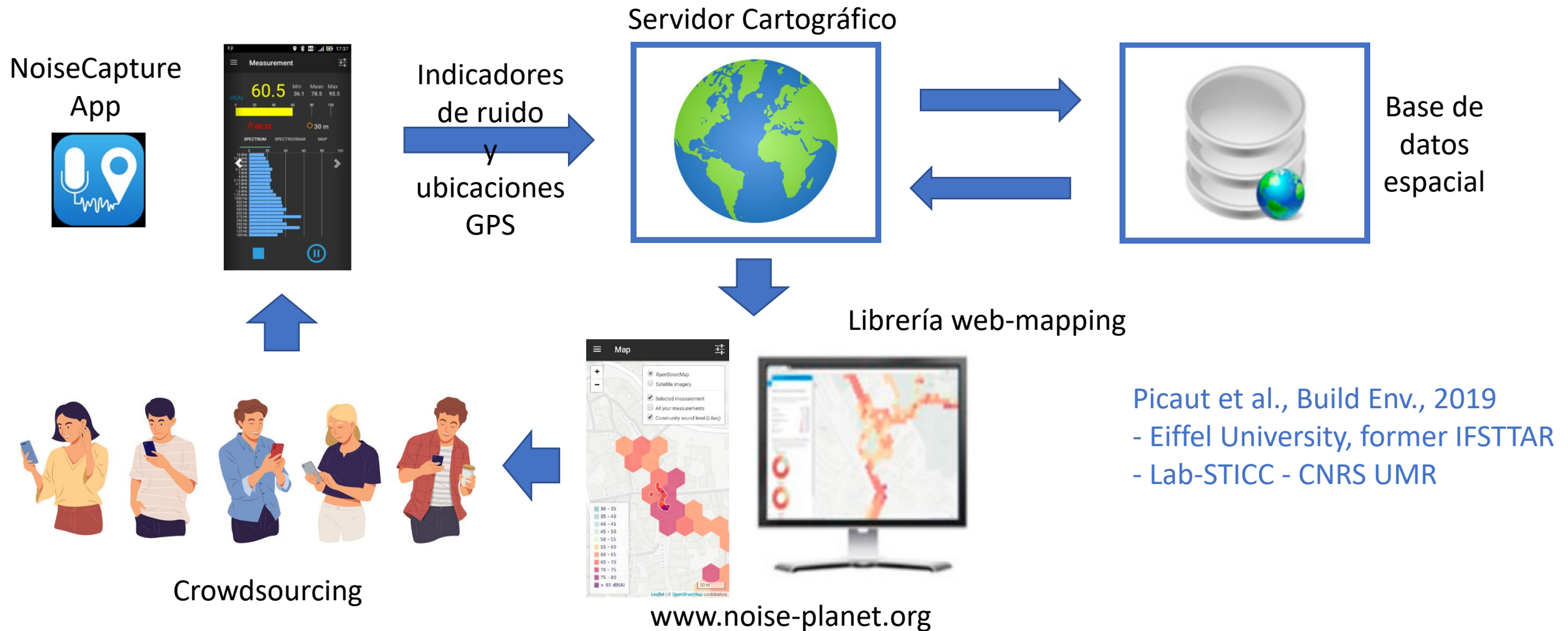


Source: UCL –University College London

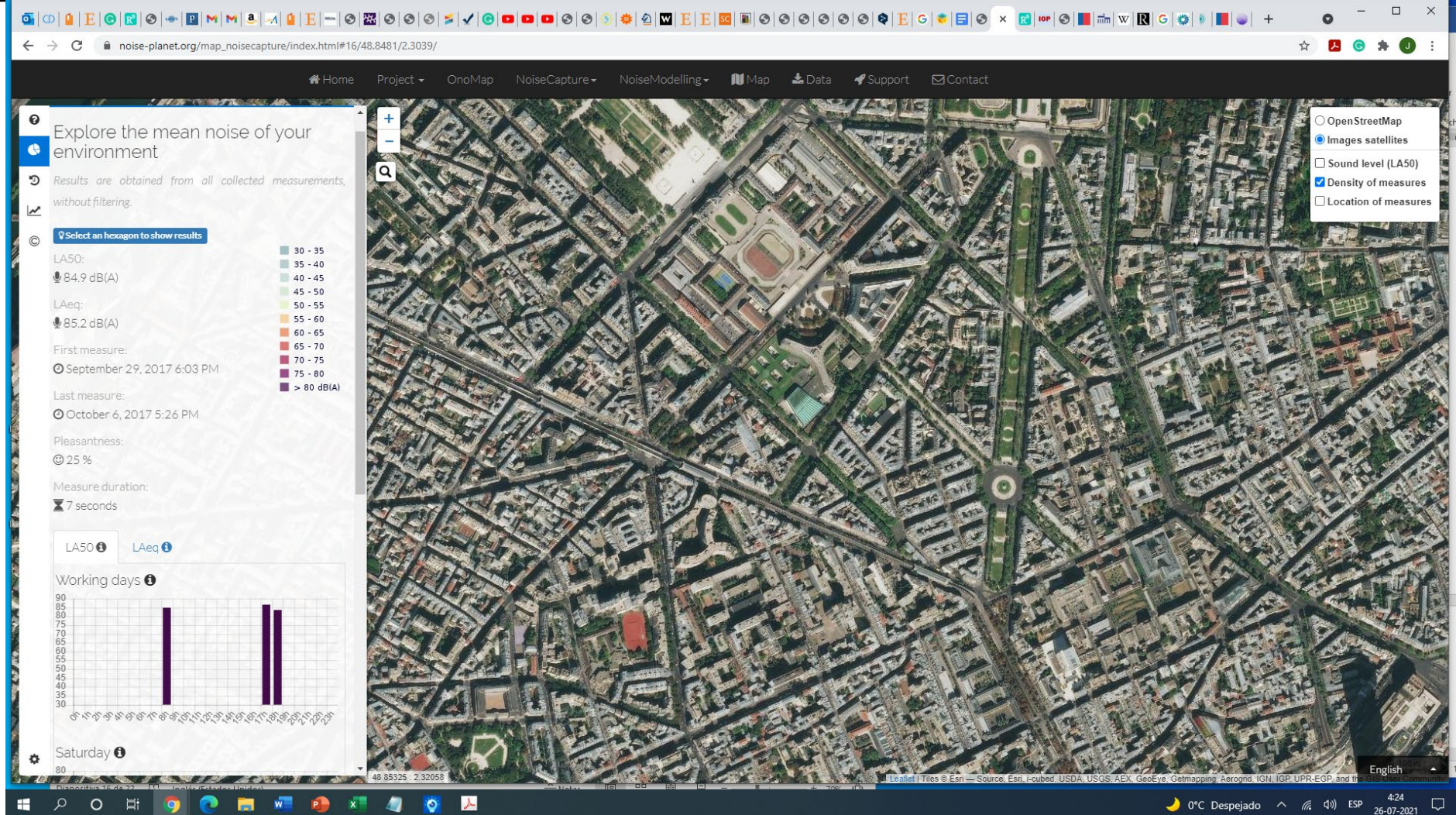
Smart cities & Desarrollo sustentable



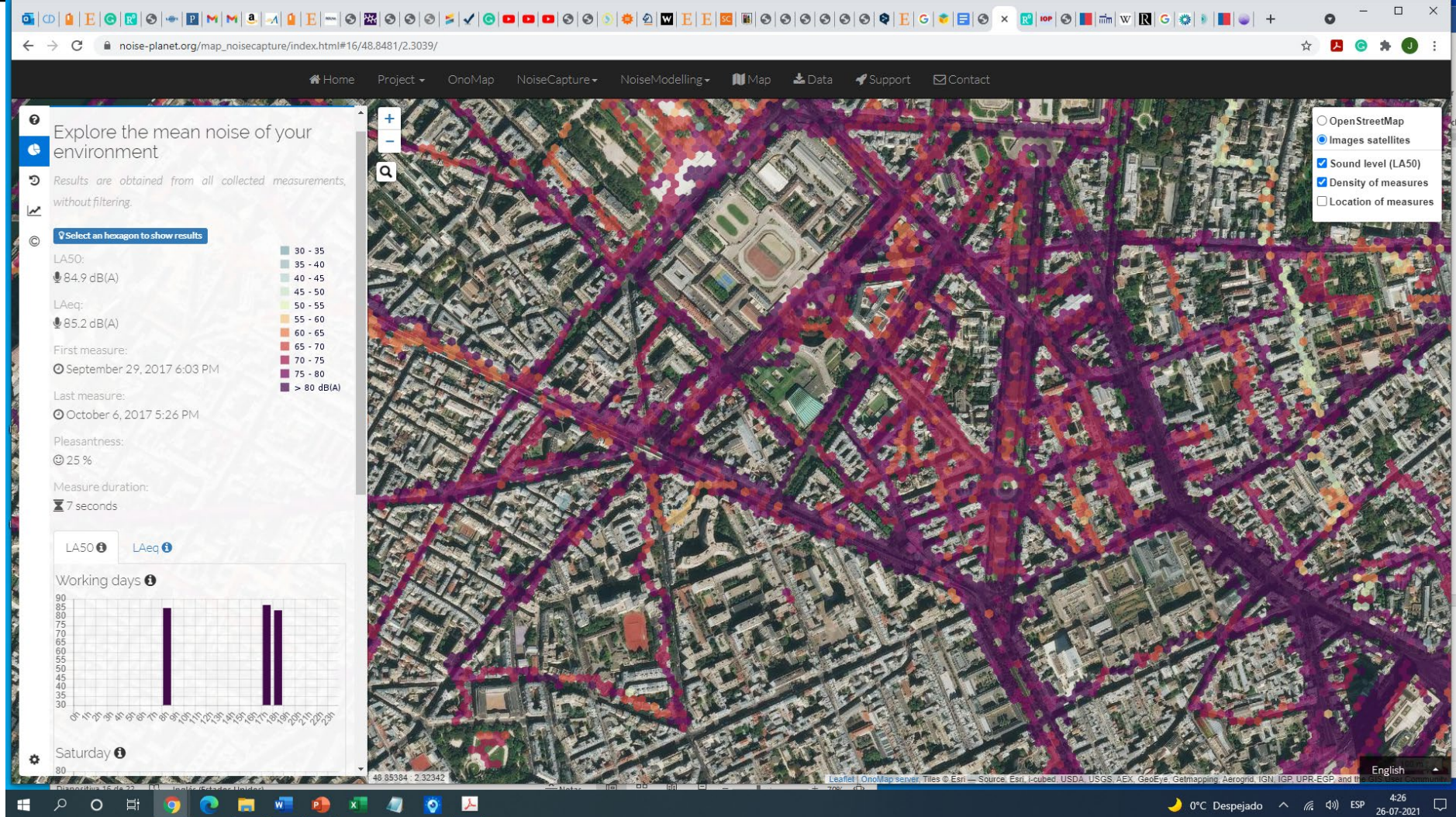
Crowdsourcing usando smartphones



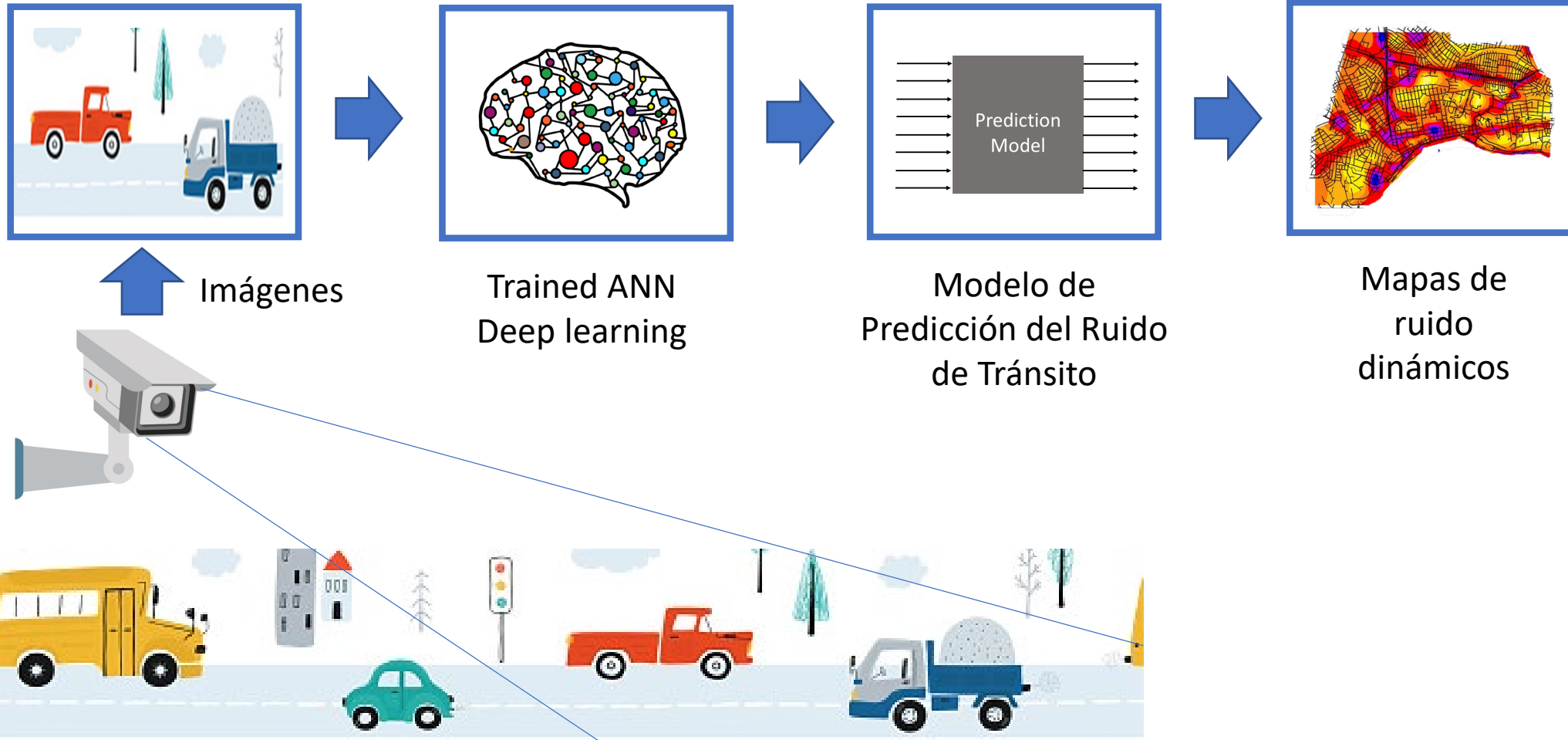
Mapas de ruido dinámicos



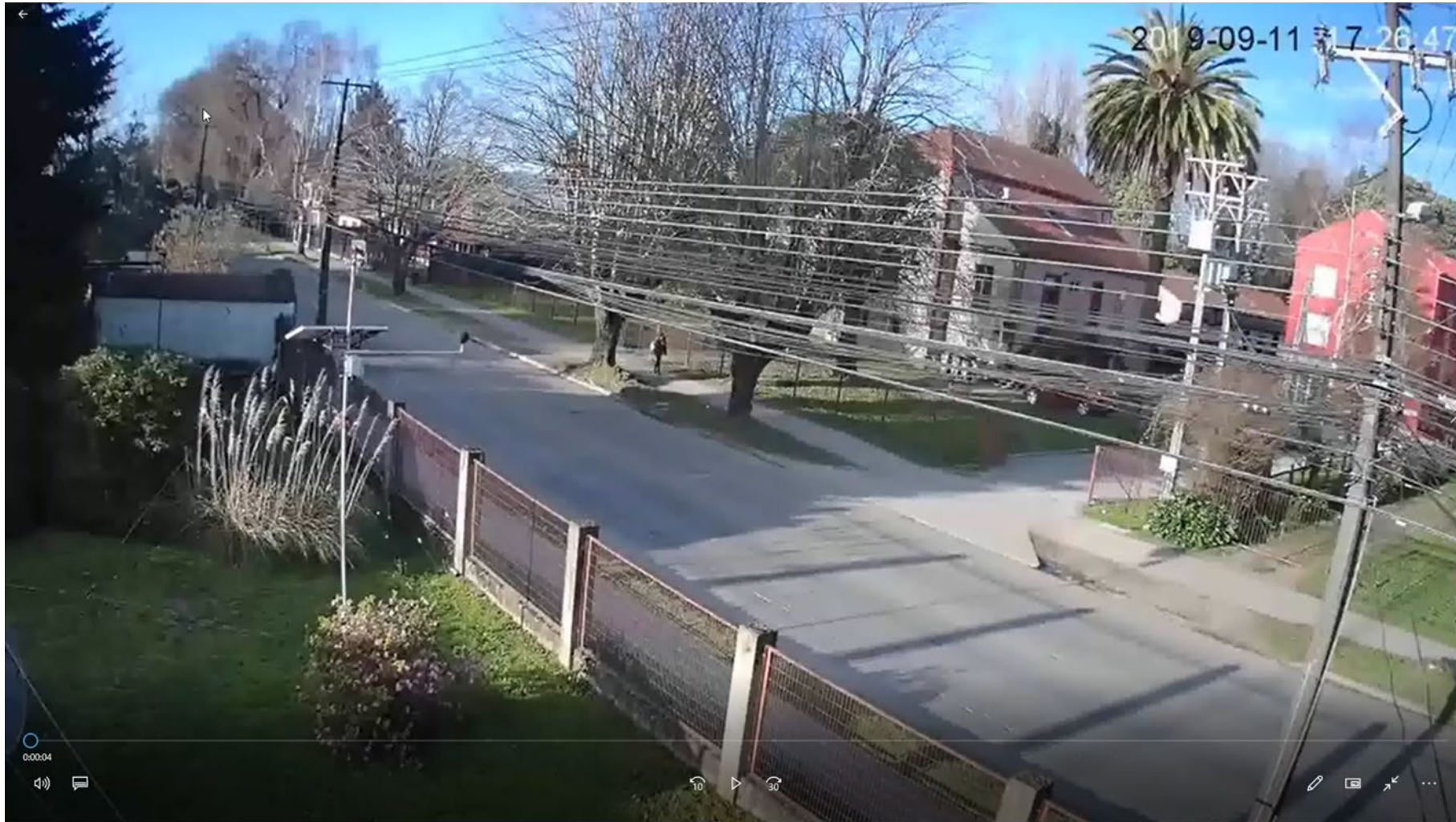
Mapas de ruido dinámicos



Reconocimiento visual de la información del flujo rodado

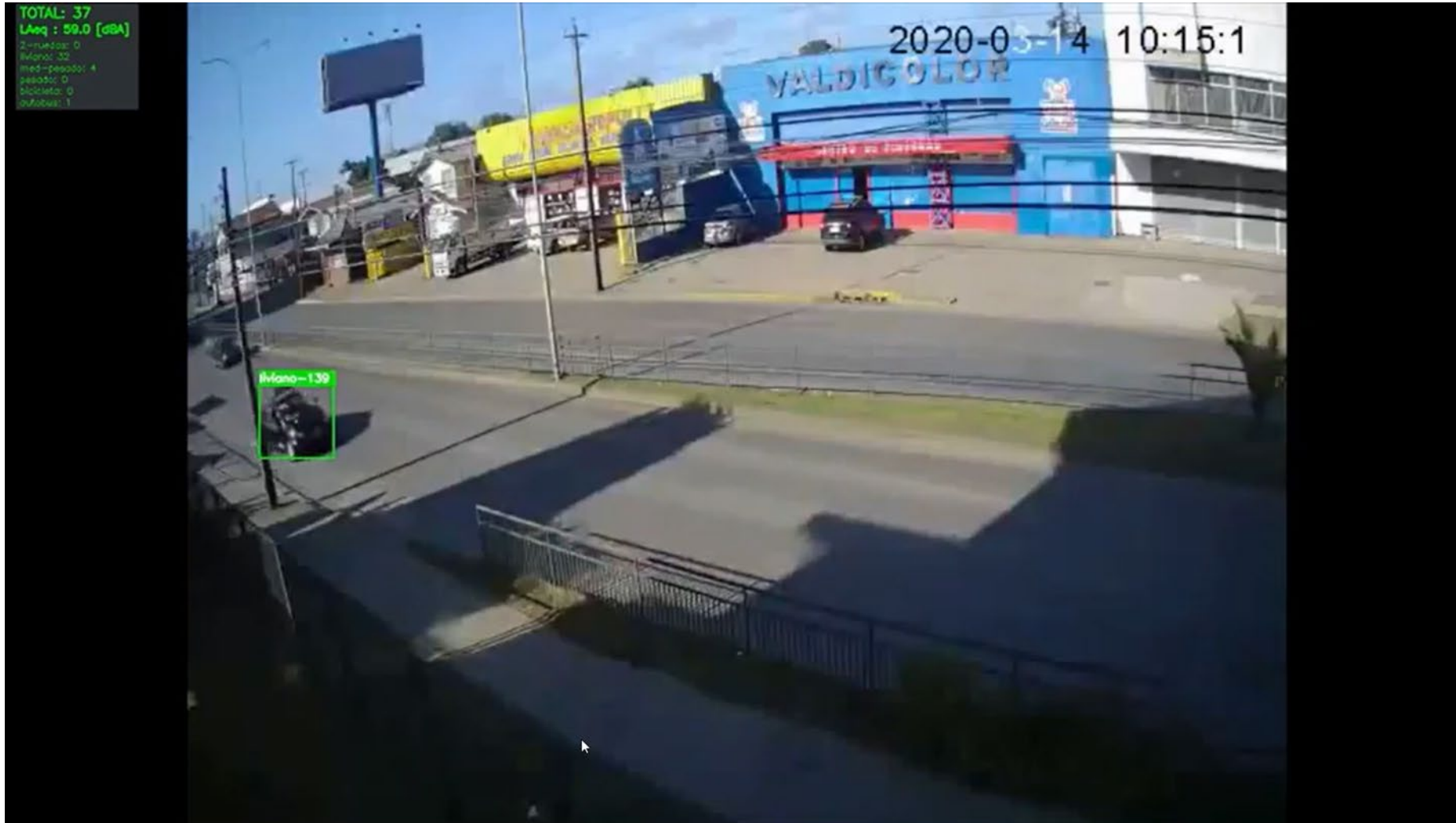


Technological Developments



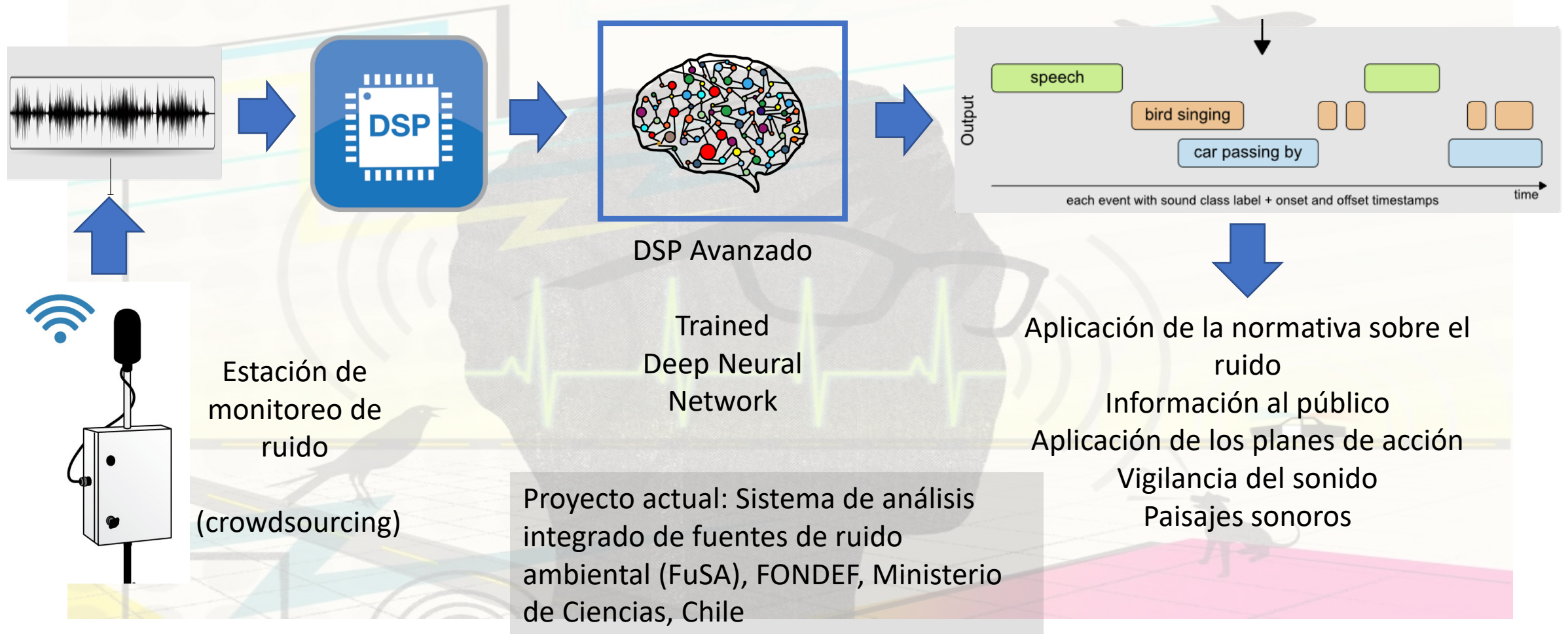
Source: cortesía
de Diego
Vergara

Technological Developments



Source: cortesía
de Diego
Vergara

Identificación de fuentes de ruido ambiental



¡Debemos seguir combatiendo el ruido!

“La cantidad de ruido que alguien puede soportar sin ser molestado, es inversamente proporcional a su capacidad mental”

A. Schopenhauer (1788 - 1860)