

Sonificación: los datos suenan. Sonificación del Arroyo Miguelete

Sonification: data sounds. Sonification of Arroyo Miguelete Sonificação: sons de dados. Sonificação da Ribeira Miguelete

Luis Marisquirena

Investigador independiente, luismarisquirena@gmail.com, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2596-0521>

Recibido: 31/10/2023

Aceptado: 06/12/2023

Resumen

Vivimos en un mundo plagado de datos de todo tipo. Registramos información en volúmenes impresionantes por su número. Vivimos en el mundo del bigdata. El registro en muchas ocasiones se transforma en listas de datos con diferentes formatos como texto, planillas electrónicas y bases de datos entre otras. El proceso que representa esos datos de forma que puedan transmitirse como señales acústicas se denomina sonificación. Las estrategias para sonificar una serie de datos son variadas. Nosotros desarrollaremos una estrategia que nos permitió sonificar el arroyo Miguelete, uno de los más importantes dentro del departamento de Montevideo. Este trabajo desarrolla esa estrategia.

Palabras clave: sonificación, datos, Arroyo Miguelete

Abstract

We live in a world plagued by data of all kinds. We record information in volumes that are impressive in number. We live in the world of big data. The registry is often transformed into lists of data with different formats such as text, electronic spreadsheets and databases, among others. The process that represents that data so that it can be transmitted as acoustic signals is called sonification. The strategies for sonifying a series of data are varied. We will develop a strategy that allowed us to sonify the Miguelete stream, one of the most important in the department of Montevideo. This paper develops that strategy.

Keywords: sonification, data, Arroyo Miguelete

Resumo

Vivemos em um mundo atormentado por dados de todos os tipos. Registramos informações em volumes que são impressionantes em número. Vivemos no mundo do big data. O cadastro muitas vezes é transformado em listas de dados com diferentes formatos, como texto, planilhas eletrônicas e bancos de dados, entre outros. O processo que representa esses dados para que possam ser transmitidos como sinais acústicos é chamado de sonificação. As estratégias para sonificar uma série de dados são variadas. Vamos desenvolver uma estratégia que nos permitiu sonificar o córrego Miguelete, um dos mais importantes do departamento de Montevideu. Este artigo desenvolve essa estratégia.

Palavras-chave: sonificação, dados, ribeira Miguelete

1. ¿QUÉ ES LA SONIFICACIÓN?

Vivimos en un mundo plagado de datos de todo tipo. Registramos información en volúmenes impresionantes por su número. Vivimos en el mundo del bigdata. El registro en muchas ocasiones se transforma en listas de datos con diferentes formatos como texto, planillas electrónicas y bases de datos, entre otras.

El proceso que representa esos datos de forma que puedan transmitirse como señales acústicas se denomina Sonificación.

La definición dada por Kramer dice "...La Sonificación es la transformación de las relaciones de datos en relaciones percibidas como una señal acústica con el fin de facilitar la comunicación o la interpretación..."

Es una técnica que, para nuestro enfoque, está entre lo científico y lo artístico sonoro.

Los datos surgen de fuentes diversas vinculadas a parámetros variados.

Las técnicas de Sonificación pueden ser diversas también, pero deben cumplir algunos requisitos básicos si están solo centradas en el ámbito científico:

- La representación sonora está vinculada a las relaciones y/o los datos que se manejan.
- Hay un algoritmo definido para la transformación de datos en señal sonora.
- Se puede replicar, es decir que si los datos de entrada son iguales la señal sonora reproducida debe ser la misma.
- Puede utilizarse el mismo algoritmo con datos diferentes o repitiendo los mismos datos obteniendo señales sonoras correspondientes con cada caso.

Las estrategias para sonificar una serie de datos son variadas. Si damos un enfoque artístico, las estrategias pueden ser infinitas.

Nosotros desarrollaremos en este trabajo la estrategia que nos permitió sonificar el arroyo Miguelete, uno de los más importantes dentro del departamento de Montevideo (Uruguay).

2. SONIFICACIÓN DEL ARROYO MIGUELETE

2.1 Descripción general del Arroyo Miguelete

El arroyo Miguelete es uno de los arroyos más importantes del departamento de Montevideo.

Se ubica en la parte central del departamento teniendo sus nacientes al norte del mismo.

Su cuenca abarca 970 Há, de las cuales 54 % son en área rural. En ella viven aproximadamente 320000 personas. El caudal máximo histórico registrado es de 280 m³/s. La longitud del cauce es de 21.5 km desagando en la Bahía de Montevideo.

2.2 Sonificación

La sonificación es el procedimiento por el cual una serie de datos se expresan acústicamente.

Es muy conocido por todo el contador Geiger utilizado para medir radioactividad. Este contador es una aplicación de la sonificación en la cual los datos de lectura de los sensores de la radioactividad se transforman para que sean escuchados. El sonido emitido está vinculado directamente con los niveles de radioactividad, donde el silencio es la no presencia y un aumento de la frecuencia es equivalente a un aumento del nivel de radioactividad.

Los procesos de Sonificación pueden ser variados. Nosotros para este caso hemos utilizado un algoritmo que transforma datos del Arroyo Miguelete en valores de frecuencia dentro del rango audible entre 20 Hz y 20000 Hz.

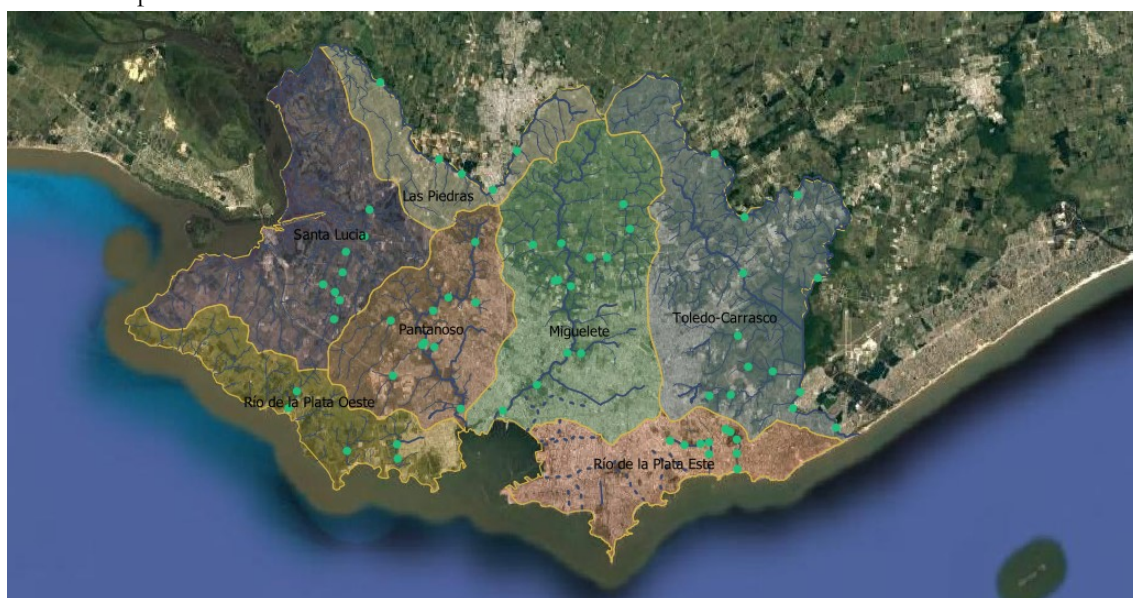


Figura 1. Foto tomada de la página WEB de la Intendencia de Montevideo ([Cursos de agua | Datos abiertos ambientales \(montevideo.gub.uy\)](https://montevideo.gub.uy/cursos-de-agua))



Figura 2. Parque lineal Arroyo Miguelete



Figura 3. Arroyo Miguelete

2.3 Desarrollo de la sonificación del acorde de base

El acorde de base pretende identificar al Arroyo Miguelete y compararlo con otros arroyos de Montevideo o de cualquier otro lugar.

Los elementos que tomamos como identificatorios del arroyo Miguelete fueron:

- La longitud de su cauce en km
- El área de su cuenca en Há
- La población dentro de la cuenca en miles de habitantes
- El caudal máximo histórico en m³/s

Con esos 4 elementos construimos valores de frecuencia de cada uno y los asociamos a nota en un teclado de piano. Por ello habrá un rango de valores por cada nota del piano que se asocian a una tecla del instrumento.

Esos cuatro valores de frecuencia constituyen un acorde de base que identifica ese curso de agua.

2.4 Sonificación de datos

Optamos en nuestro caso en trabajar con datos ambientales del arroyo Miguelete.

Los datos utilizados corresponden al índice ISCA elaborado por la Intendencia de Montevideo. El índice varía entre 0 y 100 según la tabla 1:

Tabla 1

actividad características	ISCA	Propiedades del agua
Abastecimiento	86-100	Agua de montaña
Balneario	76-85	Aguas claras
Pesca	61-75	Aguas medias
Náutica	46-60	Aguas brutas
Riego	31-45	Aguas deterioradas
Riego forestal	16-30	Agua residual diluida
Condición peligrosa	0-15	Agua residual

Más detalles del índice ISCA se encuentran en [Índice de calidad de agua | Intendencia de Montevideo](#).

Para nuestro caso tomamos los valores del INDICE anualizados para 5 estaciones de muestreo y en un periodo de 15 años.

Los valores de ese índice se toman en 5 estaciones a lo largo del arroyo Miguelete y con muestras mensuales. El periodo utilizado en la Sonificación es de 15 años. Finalmente se trabaja con todos los valores de las 5 estaciones anualizados.

Así, considerando los valores del índice ISCA se utiliza un algoritmo que los transforma a valores de frecuencia dentro del rango abarcado por un piano de 88 teclas, es decir entre 27.5 Hz y 4186 Hz (ver Tabla 2).

Para la adquisición de datos debimos recurrir al mecanismo de solicitud de información pública como nos solicitaron desde el Servicio de la IM que tiene competencia en la toma de datos en terreno. Así, recibimos datos con formato .csv

Se elaboró la siguiente tabla anualizada de valores ISCA (ver Tabla 3).

Con los datos recibidos aplicamos el algoritmo y obtuvimos así valores de frecuencia en el rango entre 27.5 y 4186 Hz con los cuales armamos la melodía de Sonificación.

El algoritmo para transformar esos valores ISCA en valores de frecuencias dentro del intervalo elegido es:

$$f_{ISCA} = Valor\ ISCA * \frac{(4186.01 - 27.5)}{100} + 27.5$$

Para nuestro caso, eso daría la siguiente tabla (ver Tabla 4).

Tabla 2. Conversión a frecuencias para cada valor ISCA. Elaboración propia a partir de [Frecuencias de afinación del piano - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA	Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA
1	la ₋₁	A0	27,5	0	23	sol ₁	G2	98,0	2
2	la _{#-1} /si _{b-1}	A#0/Bb0	29,1	0	24	sol _{#-1} /la _{b-1}	G#2/Ab2	103,8	2
3	si ₋₁	B0	30,9	0	25	la ₁	A2	110,0	2
4	do ₀	C1	32,7	0	26	la _{#-1} /si _{b-1}	A#2/Bb2	116,5	2
5	do _{#0} /re _{b0}	C#1/Db1	34,6	0	27	si ₁	B2	123,5	2
6	re ₀	D1	36,7	0	28	do ₂	C3	130,8	2
7	re _{#0} /mi _{b0}	D#1/Eb1	38,9	0	29	do _{#2} /re _{b2}	C#3/Db3	138,6	3
8	mi ₀	E1	41,2	0	30	re ₂	D3	146,8	3
9	fa ₀	F1	43,7	0	31	re _{#2} /mi _{b2}	D#3/Eb3	155,6	3
10	fa _{#0} /sol _{b0}	F#1/Gb1	46,2	0	32	mi ₂	E3	164,8	3
11	sol ₀	G1	49,0	1	33	fa ₂	F3	174,6	3
12	sol _{#0} /la _{b0}	G#1/Ab1	51,9	1	34	fa _{#2} /sol _{b2}	F#3/Ab3	185,0	4
13	la ₀	A1	55,0	1	35	sol ₂	G3	196,0	4
14	la _{#0} /si _{b0}	A#1/Bb1	58,3	1	36	sol _{#2} /la _{b2}	G#3/Ab3	207,7	4
15	si ₀	B1	61,7	1	37	la ₂	A3	220,0	5
16	do ₁	C2	65,4	1	38	la _{#2} /si _{b2}	A#3/Bb3	233,1	5
17	do _{#1} /re _{b1}	C#2/Db2	69,3	1	39	si ₂	B3	246,9	5
18	re ₁	D2	73,4	1	40	do ₃	C4	261,6	6
19	re _{#1} /mi _{b1}	D#2/Eb2	77,8	1	41	do _{#3} /re _{b3}	C#4/Db4	277,2	6
20	mi ₁	E2	82,4	1	42	re ₃	D4	293,7	7
21	fa ₁	F2	87,3	1	43	re _{#3} /mi _{b3}	D#4/Eb4	311,1	7
22	fa _{#1} /sol _{b1}	F#2/Gb2	92,5	2	44	mi ₃	E4	329,6	7

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA	Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz).	ISCA
45	fa ₃	F4	349,2	8	67	re _{#5} /mi _{b5}	D#6/Eb6	1.244,5	29-30
46	fa _{#3} /sol _{b3}	F#4/Ab4	370,0	8	68	mi ₅	E6	1.318,5	31
47	sol ₃	G4	392,0	9	69	fa ₅	F6	1.396,9	32-33
48	sol _{#3} /la _{b3}	G#4/Ab4	415,3	9	70	fa _{#5} /sol _{b5}	F#6/Ab6	1.480,0	34-35
49	la ₃	A4 (la 440)	440,0	10	71	sol ₅	G6	1.568,0	36-37
50	la _{#3} /si _{b3}	A#4/Bb4	466,2	11	72	sol _{#5} /la _{b5}	G#6/Ab6	1.661,2	38-40
51	si ₃	B4	493,9	11	73	la ₅	A6	1.760,0	41-42
52	do ₄	C5	523,3	12	74	la _{#5} /si _{b5}	A#6/Bb6	1.864,7	43-45
53	do _{#4} /re _{b4}	C#5/Db5	554,4	13	75	si ₅	B6	1.975,5	46-47
54	re ₄	D5	587,3	13	76	do ₆	C7	2.093,0	48-50
55	re _{#4} /mi _{b4}	D#5/Eb5	622,3	14	77	do _{#6} /re _{b6}	C#7/Db7	2.217,5	51-53
56	mi ₄	E5	659,3	15	78	re ₆	D7	2.349,3	54-56
57	fa ₄	F5	698,5	16	79	re _{#6} /mi _{b6}	D#7/Eb7	2.489,0	57-60
58	fa _{#4} /sol _{b4}	F#5/Ab5	740,0	17	80	mi ₆	E7	2.637,0	61-63
59	sol ₄	G5	784,0	18	81	fa ₆	F7	2.793,8	64-67
60	sol _{#4} /la _{b4}	G#5/Ab5	830,6	19	82	fa _{#6} /sol _{b6}	F#7/Ab7	2.960,0	68-74
61	la ₄	A5	880,0	20-21	83	sol ₆	G7	3.136,0	75
62	la _{#4} /si _{b4}	A#5/Bb5	932,3	22	84	sol _{#6} /la _{b6}	G#7/Ab7	3.322,4	76-79
63	si ₄	B5	987,8	23	85	la ₆	A7	3.520,0	80-85
64	do ₅	C6	1.046,5	24-25	86	la _{#6} /si _{b6}	A#7/Bb7	3.729,3	86-89
65	do _{#5} /re _{b5}	C#6/Db6	1.108,7	26	87	si ₆	B7	3.951,1	90-99
66	re ₅	D6	1.174,7	27-28	88	do ₇	C8	4.186,0	100

Tabla 3. Valores de índice ISCA (Elaboración propia a partir de datos de la Intendencia de Montevideo)

FECHA	ARROYO MIGUELETE				
	INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	69	64	59	59	55
2006	66	62	64	63	51
2007	69	61	61	61	55
2008	60	58	59	61	45
2009	56	50	56	54	45
2010	59	57	59	61	56
2011	55	60	59	58	50
2012	50	57	52	46	50
2013	60	61	55	55	55
2014	66	61	58	59	55
2015	52	52	54	57	54
2016	59	58	55	58	54
2017	63	60	60	61	51
2018	58	56	66	65	56
2019	54	59	61	67	55
2020	50	57	60	63	33

Tabla 4. Conversión a frecuencias en Hz a partir de valores ISCA anualizados.

FECHA	ARROYO MIGUELETE				
	Frecuencia en HZ correspondiente a cada valor de INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	2.897	2.689	2.481	2.481	2.315
2006	2.772	2.606	2.689	2.647	2.148
2007	2.897	2.564	2.564	2.564	2.315
2008	2.523	2.439	2.481	2.564	1.899
2009	2.356	2.107	2.356	2.273	1.899
2010	2.481	2.398	2.481	2.564	2.356
2011	2.315	2.523	2.481	2.439	2.107
2012	2.107	2.398	2.190	1.940	2.107
2013	2.523	2.564	2.315	2.315	2.315
2014	2.772	2.564	2.439	2.481	2.315
2015	2.190	2.190	2.273	2.398	2.273
2016	2.481	2.439	2.315	2.439	2.273
2017	2.647	2.523	2.523	2.564	2.148
2018	2.439	2.356	2.772	2.731	2.356
2019	2.273	2.481	2.564	2.814	2.315
2020	2.107	2.398	2.523	2.647	1.400

En el acorde de base se utilizan los parámetros indicados y el procedimiento para la conversión a frecuencias en Hz se hace para que sea posible mantener la misma en todos los cursos de agua sin apartarse del rango de frecuencias elegido:

- Longitud en km del curso de agua: se multiplica por 10
- Área de la cuenca en km²: se multiplica por 3
- Población de la cuenca en miles de habitantes: se toma el mismo número.
- Caudal máximo conocido en m³/s: se toma el mismo número

Así se obtuvo el siguiente acorde de base (ver Tabla 5).

Tabla 5. Valores del acorde de base, 4 notas

Número de tecla	Notación franco-belga	Notación anglosajona	Frecuencia (Hz). Obtenida del algoritmo	Frecuencia (Hz). ADOPTADA
45,0	fa3	F4	345,0	349,2
42,0	re3	D4	300,0	293,7
41,0	do#3/re#3	C#4/Db4	280,0	277,2
37,0	la2	A3	220,0	220,0

Este procedimiento es replicable y permitiría diferenciar diferentes cursos de agua y diferentes estados de la calidad de agua a través de la escucha de esos datos.

Algunos de los otros cursos de agua en el departamento de Montevideo son: Arroyo Pantanoso, Arroyo Las Piedras, Arroyo Carrasco, Arroyo Manga, Arroyo Toledo que serán tratados con el mismo algoritmo utilizado en el Arroyo Miguelete.

Hasta aquí los valores obtenidos por los procedimientos de Sonificación se obtienen directamente de los datos. Podríamos ejecutar la composición musical con estos valores obtenidos.

A continuación, procederemos a un tratamiento artístico en la Sonificación de los datos.

3. TRATAMIENTO ARTISTICO DE LA SONIFICACION

El desarrollo anterior puede verse como un tratamiento directo entre datos y sonidos vinculados por un algoritmo.

A los efectos de crear una composición musical procedemos a utilizar un algoritmo diferente en el tratamiento de la melodía de base ya con fines artísticos.

Para ello usamos un algoritmo diferente limitando, para la melodía, las frecuencias obtenidas a un rango entre 200 Hz y 3500 Hz y manteniendo el mismo acorde de base.

Así se obtiene para la composición de la melodía de base la siguiente tabla 6:

Tabla 6. Tabla de frecuencias obtenida a partir de los valores ISCA y utilizada para la melodía en la partitura

ARROYO MIGUELETE					
FECHA	Frecuencia en HZ correspondiente a cada valor de INDICE ISCA				
	ESTACION DE TOMA				
	M1	M2	M5	M6	M8
2005	3.500	3.042	2.583	2.583	2.217
2006	3.225	2.858	3.042	2.950	1.850
2007	3.500	2.767	2.767	2.767	2.217
2008	2.675	2.492	2.583	2.767	1.300
2009	2.308	1.758	2.308	2.125	1.300
2010	2.583	2.400	2.583	2.767	2.308
2011	2.217	2.675	2.583	2.492	1.758
2012	1.758	2.400	1.942	1.392	1.758
2013	2.675	2.767	2.217	2.217	2.217
2014	3.225	2.767	2.492	2.583	2.217
2015	1.942	1.942	2.125	2.400	2.125
2016	2.583	2.492	2.217	2.492	2.125
2017	2.950	2.675	2.675	2.767	1.850
2018	2.492	2.308	3.225	3.133	2.308
2019	2.125	2.583	2.767	3.317	2.217
2020	1.758	2.400	2.675	2.950	200

El acorde de base ejecutado con la mano izquierda se mantuvo como el obtenido originalmente.

Las frecuencias de la melodía se toman en correspondencia con las del rango de teclas del piano.

La obra incluye los valores de la melodía de base en la que se incorporan desagregadas las notas del acorde de base en un juego entre las dos manos.

Así, para la partitura de piano se tiene la Figura 5.

NOTACION ANGLOSAJONA							
G#7/Ab7	G#7/Ab7	G7	G7	G#7/Ab7	G#7/Ab7	E7	E7
A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3	A3
C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4	C#4/Db4
F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4	F4
D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D4
NOTACION CLASICA							
La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3	La3
Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4	Do#4
Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4	Fa4
Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4	Re4
Sol#7	Sol#7	Sol7	Sol7	Sol#7	Sol#7	Mi7	Mi7

Figura 4. Elección de las notas para la composición en piano

Arroyo Miguelete

Primavera 2021

Luis Marisquirena

Sonificación del índice ISCA anualizado para 5 estaciones de muestreo

Figura 5. Arroyo Miguelete. Partitura para piano

Continuando con el tratamiento artístico de esta composición a partir de la Sonificación de datos del arroyo Miguelete, agregamos a esa composición de base una instrumentación fundada en los mismos conceptos, pero ya con intervenciones y timbres expresados artísticamente sin atarse a la secuencia de datos en sí.

Los audios correspondientes a la melodía de base y a la posterior orquestación las pueden encontrar en www.luismarisquirena.com

4. LA SONIFICACION DESDE EL PUNTO DE VISTA INCLUSIVO

Si bien todo el desarrollo anterior se realiza para terminar con una composición artística, no podemos

perder de vista que esa sonificación y la melodía de base permiten identificar las condiciones ambientales comparándolas en el mismo curso a lo largo del tiempo y entre diferentes estaciones de muestreo para un mismo período o comparar estos resultados con los obtenidos para otros cursos de agua.

El procedimiento original permitiría diferenciarlos acústicamente y que alguien solo escuchando interprete los múltiples datos disponibles. Para que sea replicable a otros periodos y a diferentes cursos de agua, debe mantenerse en todos los casos el mismo algoritmo de conversión.

Pensemos en alguien con capacidad limitada de visión o sin ella que pueda diferenciar solo escuchando o alguien que además no pueda oír, y si pueda reconocer diversas situaciones ambientales con vibraciones correspondientes a las frecuencias de la melodía.

ANEXO: AUDIOS DE LAS COMPOSICIONES

Arroyo Miguelete: Desarrollo de la melodía de base. Se puede escuchar en www.luismarisquirena.com

Arroyo Miguelete: Orquestación. Se puede escuchar en www.luismarisquirena.com

BIBLIOGRAFIA DE REFERENCIA

Hermann, Thomass; Hunt, Andy; Neuhoff, John. *The Sonification Handbook*. European Sciences Foundation - ISBN 978-3-8325-2819-5

Chion, Michel. *El sonido. Música, cine, literatura...* - Ed Paidós - ISBN: 84-493-0703-1

Kramer, Gregory & Walker, Bruce & Bonebright, Terri & Cook, Perry & Flowers, John & Miner, Nadine & Neuhoff, John & Bargar, Robin & Barrass, Stephen & Berger, Jonathan & Evreinov, Grigori & Fitch, W. & Grohn, M. & Handel, S. & Kaper, Hans & Levkowitz, H. & Lodha, S. & Shinn-Cunningham, Barbara & Simoni, Mary & Típei, Sever. (1999). *The sonification report: Status of the field and research agenda*. Report prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display.