

---

**XIII Congreso Argentino de Acústica**  
**VII Jornadas de Acústica, Electroacústica y Áreas Vinculadas**  
**Buenos Aires, 29 y 30 de octubre de 2015**

AdAA2015-A013

**Estudio de la relación entre las emociones generadas  
por la música y parámetros de la función  
de autocorrelación continua**

Andrés Sabater<sup>(a)</sup>

(a) Ingeniería en Sonido, Universidad Nacional Tres de Febrero. Valentín Gómez 4828, Tres de Febrero, Argentina. E-mail: [amsabater@gmail.com](mailto:amsabater@gmail.com).

**Abstract**

The presented work achieved a relationship between the emotions generated by music through listening and statistical parameters obtained from the running autocorrelation function parameters (r-ACF). To do that, four subjective test were done, using four stimuli, and the emotions of happiness, fear, sadness and calmness were evaluated. A subjective scale value of each emotion was obtained and correlated with the statistical parameters through Pearson Correlation. The final results showed a significant relation between the emotions generated by music and r-ACF parameters.

**Resumen**

El presente trabajo alcanza una relación entre las emociones generadas por la música a través de la escucha y parámetros estadísticos obtenidos de la función de autocorrelación (r-ACF). Para lograr esto, se realizaron cuatro test subjetivos, utilizando cuatro estímulos y evaluando las emociones de alegría, miedo, tristeza y calma. Se obtuvo una escala de valoración subjetiva de cada emoción, la cual fue correlacionada con los parámetros estadísticos mediante Correlación de Pearson. Los resultados finales muestran una significativa relación entre las emociones generadas por la música y los parámetros de r-ACF.

## 1 Introducción

Existen al momento muchos parámetros objetivos que describen la música, pero ninguno de estos relacionado a las emociones que la música genera en el ser humano. Yan y Chen, han utilizado el Reconocimiento de Emociones Musicales (MER – Music Emotion Recognition) para encontrar las emociones percibidas en la música a través de parámetros objetivos, pero no lo han desarrollado por completo todavía. Por lo tanto, esta teoría no será aplicada en este trabajo.

Ando et.al., concluyeron que la función de autocorrelación continua (rACF – running Autocorrelation Function) está directamente relacionada con cómo el cerebro procesa la información sonora a nivel temporal. Esta función otorga como resultado una serie de parámetros microscópicos ( $W\phi(0)$ ,  $\Phi(0)$ ,  $\phi_1$ ,  $\tau_1$  y  $\tau_{e-min}$ ) capaces de describirla. De hecho, estudios recientes muestran que  $W\phi(0)$  es un parámetro útil para cuantificar el *brillo* y el *timbre* y  $\tau_{e-min}$  puede incluir información útil para la identificación de sílabas. También, Sato et. al. demostraron que  $\Phi(0)$  y  $\phi_1$  son importantes para la identificación de la fluctuación de la intensidad sonora, y  $\tau_1$  y  $\phi_1$ , asociados con el fin de la fase operativa de un refrigerador pueden dividir el sonido como en *desvanecimiento* o *golpeteo*. Por otro lado, Bidondo et. al., utilizaron los parámetros de rACF para analizar reconocimiento del hablante e identificación de fuentes sonoras.

E. Flores y J.L. Díaz definieron 28 categorías de emoción para evaluar 10 segmentos musicales. Estas categorías pueden ser divididas en cuatro grupos. Se pueden observar los grupos de emociones en la tabla 1. Ellos determinaron que en todo segmento musical existe un predominio de una o más categorías de la emoción y estas son diferentes para la mayoría de los segmentos.

**Tabla 1.** Grupos de emociones

<b>Felicidad</b>	<b>Miedo</b>	<b>Tristeza</b>	<b>Calma</b>
Fortaleza	Disgusto,	Agotamiento	Gusto
Sorpres	Miedo	Aburrimiento	Placer
Entusiasmo	Antipatía	Apatía	Deseo
Satisfacción	Odio	Frustración	Amor
Felicidad	Enojo	Tristeza	Tranquilidad
Valor	Duda	Dolor	Certeza
Arrogancia	Estrés	Humillación	Alivio

También, R. Bresin y A. Friberg estudiaron la manipulación de siete variables musicales (tempo, nivel sonoro, articulación, melodía, registro, timbre y tiempo de ataque) para comunicar diferentes expresiones emocionales valuadas en cuatro niveles: Felicidad, Tristeza, Miedo y Calma. Lograron una relación entre los resultados subjetivos y los resultados estadísticos de los parámetros musicales.

Sin embargo, no se han relevado estudios realicen una relación entre los parámetros de rACF y emociones generadas por la música. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo es el de relacionar estos parámetros objetivos y las variables subjetivas de las últimas emociones mencionadas, como un primer paso de una vinculación entre los parámetros de rACF y musicoterapia, una nueva ciencia que aún no tiene resultados objetivos mensurables.

Para lograr esta relación se realizaron cuatro test de Thurstone utilizando cuatro estímulos diferentes. Por otro lado, los resultados de estos test fueron comparados con

parámetros estadísticos de los obtenidos de rACF de cada estímulo sonoro realizando una correlación de Pearson (Walpole, 2007) entre los resultados estadísticos y la escala valorativa resultante de los test subjetivos.

## 2 Estímulos utilizados

Fueron utilizados como estímulos de análisis a fin de relacionar las emociones generadas por la música y los parámetros de rACF, los mismos utilizados por R. Bresin y A. Friberg en su trabajo anteriormente mencionado. Estos cuatro segmentos musicales fueron compuestos para comunicar cuatro emociones diferentes cada uno (felicidad, tristeza, miedo y calma). La figura 1 muestra la partitura utilizada para su interpretación.

El nombre que se le dio a cada composición fue el de “Audio 1” para aquel que transmitiría “*Felicidad*”, Audio 2 para el correspondiente a “*Miedo*”, Audio 3 para “*Tristeza*” y Audio 4 para “*Calma*”. La información sobre variables musicales como tiempo y nivel sonoro no se brindó en la partitura a fin de permitir la libre interpretación y expresión por parte del intérprete, en concordancia con el trabajo realizado por R. Bresin y A. Friberg.

Los estímulos fueron interpretados en piano y registrados con una tasa de muestreo de 48 kHz utilizando:

- Micrófono Behringer ECM8000, Número de serie: D1309382118
- Placa de Sonido Focusrite Scarlett 8i6, Número de serie: UF6212413111
- Notebook Dell Inspiron 1545, Número de serie: 5D5S4N1
- Auriculares Behringer HPM1000, Número de serie: G1437088223.

Las grabaciones originales fueron normalizadas, y se utilizaron sólo los primeros 15 s de la señal, contemplando 3 s de incremento del nivel inicial, y 3 s de decremento hacia el final (fade-in, fade-out).

## 3 Test objetivo

### 3.1 Variables objetivas

Las variables objetivas calculadas son  $W\phi(0)$ ,  $\Phi(0)$ ,  $\phi_1$ ,  $\tau_{e-min}$  and  $\tau_1$  (Ando, 2009) Todos estos parámetros son calculados de rACF. Los mismos se muestran en las figuras 2 y 3. Estas variables se desprenden como parámetros microscópicos de la función de autocorrelación continua obtenida de cada uno de los estímulos analizados. Siendo  $\Phi(0)$  la amplitud inicial,  $W\phi(0)$  el tiempo transcurrido desde el inicio de la rACF hasta el primer valor nulo,  $\phi_1$  la amplitud del primer pico positivo,  $\tau_1$  el tiempo transcurrido desde el inicio hasta obtener el primer pico positivo de la función y  $\tau_{e-min}$  la distancia mínima entre máximos relativos.

### 3.2 Software utilizados

Se utilizó, a fin del cálculo de los parámetros de rACF de cada señal de los estímulos, el software acfGUI, desarrollado por Sato y Wu.

Este software permite seleccionar el intervalo de integración (200 ms), desplazamiento (100 msec), tiempo máximo de retraso (200 ms) y el rango de  $\tau_1$  (30 ms). Estos fueron los parámetros preestablecidos por el software.

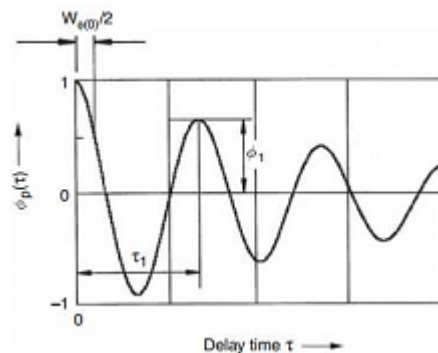
### 3.3 Resultados objetivos

Fueron calculados diferentes parámetros estadísticos para cada parámetro de rACF. Luego, estos parámetros estadísticos fueron correlacionados con la escala valorativa obtenida del test subjetivo, utilizando la correlación de Pearson. A fin de facilitar la comprensión del trabajo presentado, en la tabla 2 se muestran sólo los parámetros con correlación. Los mismos

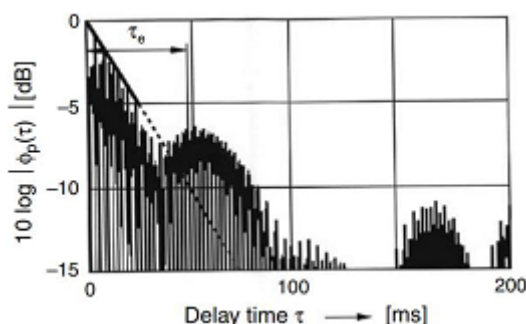
son: para  $\Phi(0)$ , AVEDEV (promedio de las desviaciones absolutas), SKEW (pendiente de la distribución, o coeficiente de asimetría), STDEV.P (desviación estándar); Para  $\phi_1$ , DESVSQ (suma de desvíos cuadráticos), MEDIAN (mediana), STDEV.P; para  $\tau_1$  fueron HERMEAN (media armónica), MEDIAN, y MODE.SGNL (moda, o muestra con mayor frecuencia de repetición). Para  $W\phi(0)$  y  $\tau_{e-min}$  no se muestran parámetros estadísticos debido a que no se obtuvieron ningún tipo de correlación relevante con estos.



**Figura 1.** Partituras correspondientes a cada segmento musical utilizado (R. Bresin y A. Friberg, 2011).



**Figura 2.**  $W\phi(0)$ ,  $\Phi(0)$ ,  $\phi_1$  y  $\tau_1$  extraídos de la función autocorrelación (Ando, 2009).



**Figura 3.**  $\tau_{e-min}$  extraído de la función de autocorrelación. (Ando, 2009).

**Tabla 2.** Parámetros estadísticos obtenidos de los parámetros de rACF de cada archivo de audio.

Estadístico	Audio 1	Audio 2	Audio 3	Audio 4
Avedev( $\Phi(0)$ )	6,74	3,46	5,25	5,59
Skew( $\Phi(0)$ )	-0,81	-1,06	-0,58	-0,93
StDev.p( $\Phi(0)$ )	8,37	4,55	6,41	7,18
DevSq( $\phi_1$ )	12,08	4,93	11,22	10,55
Median( $\phi_1$ )	0,87	0,73	0,85	0,87
StDev.p( $\phi_1$ )	0,29	0,18	0,28	0,27
HarMean( $\tau_1$ )	6,81	16,20	12,27	4,63
Median( $\tau_1$ )	10,20	19,23	12,88	4,81
Mode.Sngl( $\tau_1$ )	7,64	11,41	12,81	3,04

Los parámetros referidos a  $\tau_1$  son mayores referidos a Audio 2 (miedo) y menores para Audio 4 (Calma). Parámetros con relación a  $\phi_1$  obtienen valores mayores respecto a Audio 1 (Felicidad) a excepción de Median( $\phi_1$ ), donde se obtienen valores similares para todos los estímulos, apenas un poco menor para Audio 2. En cuanto a  $\Phi(0)$ , no demuestra ningún tipo de tendencia.

## 4 Test subjetivo

### 4.1 Variables subjetivas

Es claro observar que los 4 grupos de categorías de la emoción mencionados están vinculados la emoción transmitida por cada uno de los cuatro estímulos. Grupos y estímulos pueden ser llamados con el mismo nombre que la emoción generada. Por lo tanto, las variables a ser evaluadas son Calma, Felicidad, Miedo y Tristeza.

El objetivo de este test es el de dar un orden valorativo a cada estímulo basado en la emoción evaluada. Esto fue realizado a través de un Test de Thurstone, caso V.

### 4.2 Test de Thurstone

Se utilizó una plataforma GUI (Graphical User Interface) desarrollada en Matlab para realizar el test. El mismo se realizó con 25 sujetos iniciales, cualquier edad y sexo. No se consideró necesario llevar a cabo el test en un ambiente de acústica controlada, debido a que la escucha se realizó a través de auriculares. Se le permitió al oyente ajustar el nivel sonoro de reproducción a su criterio, a fin de realizar la escucha de los estímulos en condiciones similares a la normal apreciación de piezas musicales por su parte.

El procedimiento constó, como primer paso, en el entrenamiento del escucha, es decir, que el sujeto escuche uno por uno los estímulos en forma previa a realizar el test. En segundo lugar, se realizó la comparación de a pares evaluando “¿Cuál estímulo es más representativo a la emoción evaluada?”. Las respuestas posibles eran tres, *Audio A*, *Audio B*, *Io I Igual*.

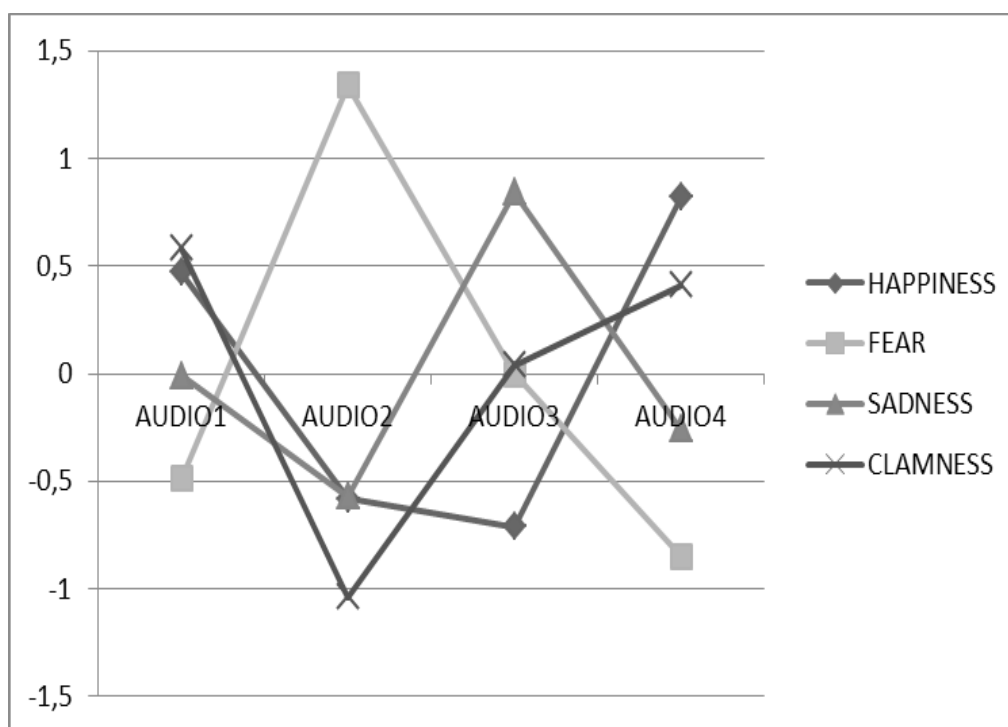
### 4.3 Resultados subjetivos

#### 4.3.1 Test de consistencia

Para evaluar la consistencia del test se evaluó el error circular. Es decir, se consideró como dato no válido aquellos casos donde por ejemplo, a una determinada emoción se le diera una valoración mayor para Audio 1 respecto a Audio 2, mayor a Audio 2 respecto a Audio 3, y mayor a Audio 3 respecto de Audio 1. El radio de error circular fue definido como 0,25 (Parizet, 2002). La contemplación de este error cambió la cantidad final de sujetos válidos para cada test, siendo 18 sujetos válidos para el test donde se evaluó la emoción de Felicidad, 20 para la de Miedo, 19 para Tristeza y 21 para el test referido a Calma.

#### 4.3.2 Escala valorativa

La figura 4 muestra la escala valorativa obtenida, para cada emoción, en función a cada estímulo.



**Figura 4.** Escala valorativa obtenida.

Para el Audio 1 (*felicidad*), El valor máximo obtenido corresponde al sentimiento de *Calma*, sin embargo este valor es muy cercano al de *Felicidad*. Para el Audio 2 (*miedo*) el máximo valor corresponde a *Miedo*, y el menor a *Calma*, es decir, plenamente opuesto. En el caso del Audio 3 (*tristeza*) el máximo valor obtenido corresponde al de *Tristeza* y el mínimo al de *Felicidad*, opuesto también. Para el Audio 4 (*calma*), la máxima valoración corresponde a *Felicidad*, seguido de *Calma*. Tanto para Audio 1 como Audio 4, el mínimo valor fue *Miedo*.

### 4.3.3 Análisis de varianza

Previamente al análisis de varianza (ANOVA), el test de acuerdo y la bondad de ajuste fueron calculados. En todos los casos, se obtuvieron resultados favorables. Ambos test permiten la validación de la escala de valores subjetivos para continuar así con ANOVA.

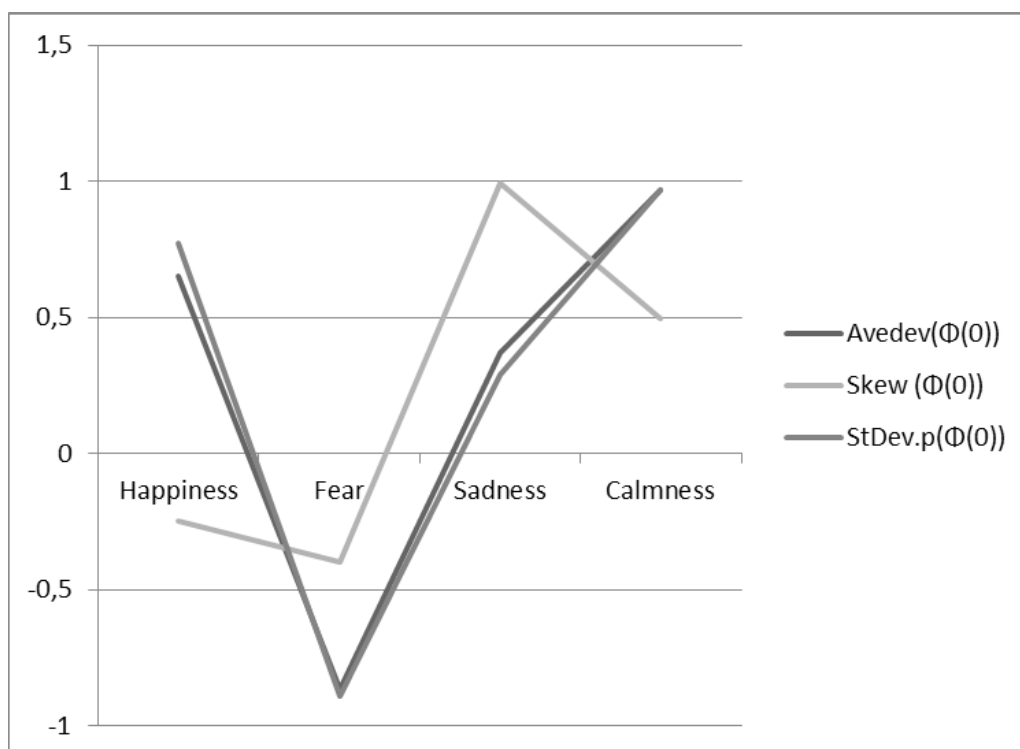
El análisis de varianza se hizo para los resultados de todos los test subjetivos realizados. Dando resultados altamente significantes para todos los casos. En el caso de Felicidad [ $F=38,125$ ;  $df=3$ ;  $p=0,00001$ ], para el test realizado en función de Miedo se obtuvo [ $F=101,507$ ;  $df=3$ ;  $p=0,00001$ ], para el caso de Tristeza [ $F=55,206$ ,  $df=3$ ,  $p=0,00001$ ] y finalmente, para el test de Calma [ $F=34,954$ ;  $df=3$ ;  $p=0,00001$ ]. Estos resultados de ANOVA permiten concluir la hipótesis nula de que la población sea la misma, es decir, los valores de la escala subjetiva calculada no son dependientes, por lo tanto, el test es aceptado como válido.

## 5 Análisis de resultados

A fin de obtener una correlación entre los parámetros de rACF y los valores de la escala de las emociones, obtenidos de los test subjetivos, se calculó la Correlación de Pearson utilizando el software SPSS. Es importante aclarar que en este tipo de correlación, las variables cercanas a 1 tienen una correlación positiva, las próximas a 0 no tienen ningún tipo de correlación, y las cercanas a -1 tienen una correlación negativa.

También fueron calculadas las correlaciones entre diferentes emociones.

Las figuras 5, 6, 7 y 8 muestran las correlaciones de Pearson obtenidas entre los parámetros estadísticos y los valores de la escala subjetiva.



**Figura 5.** Correlación de Pearson entre  $\Phi(0)$  y los valores de la escala subjetiva.

Avedev ( $\Phi(0)$ ) y StDev( $\Phi(0)$ ) obtienen un máximo valor para *Calma* y un mínimo para *Miedo*, siendo ambas emociones opuestas entre sí. Skew( $\Phi(0)$ ) tiene su valor más bajo en *Miedo* también. Se puede observar también en la figura 5, que la forma de la figura correspondiente a la correlación, es similar a la de Avedev ( $\Phi(0)$ ) y StDev( $\Phi(0)$ ).

En el caso de la figura 6, se observa la forma similar en el trazo de las distintas curvas, esto implica que este valor sigue una distribución similar, al mismo tiempo que también es similar a algunos de los trazos de la figura 5. Nuevamente, el mínimo y el máximo valor corresponden a *Miedo* y *Calma* respectivamente.

Para los parámetros de  $\tau_1$ , en la figura 7 se puede distinguir la relación entre Mode.Sngl( $\tau_1$ ) y la emoción de *Miedo*. Respecto a las otras emociones, este parámetro estadístico muestra resultados más bajos, en especial para *Calma* y *Felicidad*, donde tiene una correlación negativa, En el caso de HarMean( $\tau_1$ ) tiene una correlación negativa en referencia a *Felicidad*, *Miedo* y *Calma*, y una correlación muy pobre, aunque también negativa, para *Tristeza*.

La figura 8 muestra la correlación calculada entre los diferentes valores de escala subjetiva obtenidos para cada emoción. Es posible observar que *Felicidad* y *Calma* tienen una importante correlación positiva entre si y ambas, un importante correlación negativa en cuanto *Miedo*. *Tristeza*, no muestra ninguna correlación significativa respecto al resto de las emociones.



**Figura 6.** Correlación de Pearson entre  $\phi_1$  y los valores de la escala subjetiva.

## 6 Conclusión

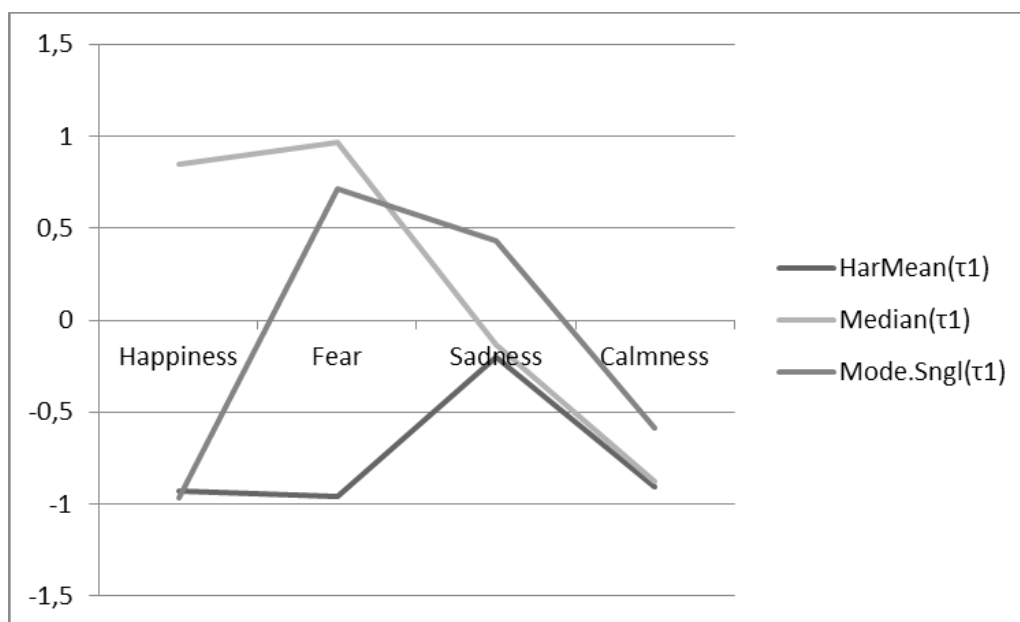
Todas las escalas valorativas de la emoción, tienen correlación con uno o más parámetros de rACF.

No fue posible encontrar una relación de alguna emoción con todos los parámetros de rACF pero esto no significa que no lo haya. Quizá puedan lograrse aplicando otros tipos de correlación, distintas a la utilizada en este trabajo.

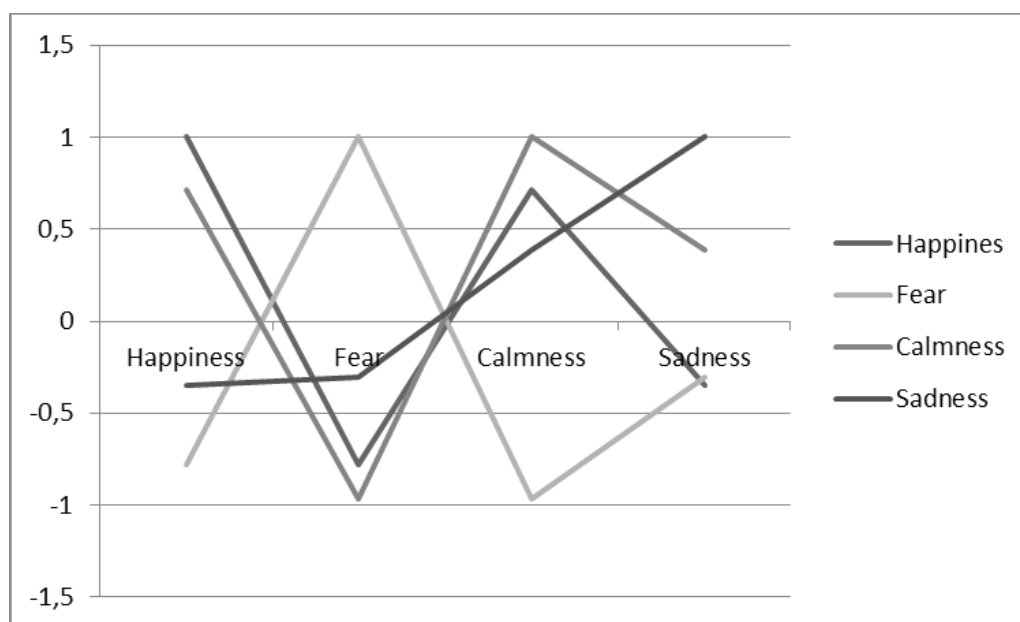


$\Phi(0)$  tiene relación con Tristeza y Calma y  $\phi_1$  tiene una fuerte relación con Calma. En el caso de  $\tau_1$ , esta tiene una importante vinculación con la emoción de Miedo. La Emoción de Felicidad, mostró solamente relación con el parámetro estadístico Moda Simple de  $\tau_1$ .

No fue posible encontrar un parámetro para medir las emociones generadas por la música, lo cual será un trabajo muy dificultoso, debido a la cantidad de parámetros estadísticos no estudiados en este trabajo, y quizá alguno de ellos, tenga una mejor relación con las diferentes emociones.



**Figura 7.** Correlación de Pearson entre  $\tau_1$  y los valores de la escala subjetiva.



**Figura 8.** Correlación entre los valores de las distintas escalas subjetivas obtenidas para cada emoción

## 7 Trabajo futuro

Realizar un análisis estadístico más amplio, utilizando una mayor cantidad de parámetros estadísticos y otros tipos de correlaciones para encontrar más relaciones entre los parámetros de rACF y las emociones generadas por la música.

Debido a que las emociones tienen relación con más de un parámetro estadístico de rACF, el próximo paso podría ser el de desarrollar una cadena de parámetros ponderados para identificar cada emoción generada por la música.

Siempre teniendo en cuenta, que el principal objetivo de esta línea de investigación es la de analizar la posibilidad de cuantificar las emociones generadas por la música utilizando parámetros de rACF.

Al mismo tiempo, relacionar los resultados obtenidos con teorías aplicadas a la recuperación del habla mediante la utilización de estímulos melódicos.

## Referencias

- Yang, Y.; Chen, H. H. 2011. "Music Emotion Recognition". CRC Press Taylor & Francis Group, Florida, Estados Unidos.
- Ando, Y.; Okano, T.; Takezoe, Y. 1989 "The running autocorrelation function of different music signals relating to preferred temporal parameters of sound field" J. Acoustics Soc. Am. 86-2: 644-649.
- Ando, Y.; 1977. "Subjective preferences in relation to objective parameters of music sounds fields with a single echo", J. Acoustics Soc. Am. 62-6, 1436-1441.
- Ando, Y. 2013. "Autocorrelation-based features for speech representation", J. Acoustics Soc. Am. 133-5-2, 1-26.
- Sato, S.; You, J.; Jeon, Y. J. 2007. "Sound Quality Characteristics of refrigerator noise in real living environments with relation to psychoacoustical and autocorrelation parameters" J. Acoustics Soc. Am. 122-1, 314-325.
- Bidondo, A.; Sato, S.; Sabater, A.; Kinisberg, E.; Arouxet, M.; Arias, A.; Saavedra, A.; Groisman, A. 2013. "Speaker recognition analysis using running autocorrelation function parameters". J. Acoustics Soc. Am. 133-5-2.
- Flores, E.; Díaz, J. L. 2009 "The emotional response to music: Attribution of emotions terms to musical segments" Salud Mental, 32, 21-34.
- Bresin, R.; Friberg, A. 2011. "Emotion Rendering in Music: Range and Characteristics values of seven musical variables" Cortex, 47, 1068-1081.
- Thurstone, L. L.; 1927. "Psychophysical Analysis" The American Journal of Psychology, 38,3, 368-399.
- Walpole, 2007. "Probabilidad y Estadística para Ciencias e Ingeniería" Pearson Education, Mexico.
- Parizet, Etienne. 2002. "Paired comparison listening test and circular error rates." Acta Acustica united with Acustica, 88, 594-598.