

Bioacústica

Análisis de señales acústicas para su aplicación en ciencias biológicas

Lucia Ziegler

lucia.ziegler@gmail.com

Martín Rocamora

rocamora@fing.edu.uy

Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas

PEDECIBA

Agosto 13, 2021



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

- Introducción: paisaje sonoro y ecoacústica
- Componentes del paisaje sonoro
- Herramientas: Índices acústicos
- Procesamiento por “lotes”

- Introducción: paisaje sonoro y ecoacústica
- Componentes del paisaje sonoro
- Herramientas: Índices acústicos
- Procesamiento por “lotes”



Obtención de audios

- Manual, típicamente enfocado a especies específicas
- Automático (muestreos pasivos)
 - Cada vez más comunes (económicos)
 - Mayor autonomía
 - Mayor cobertura (temporal y espacial)
 - Registro “objetivo”
 - Reducción del impacto



Monitoreo acústico pasivo

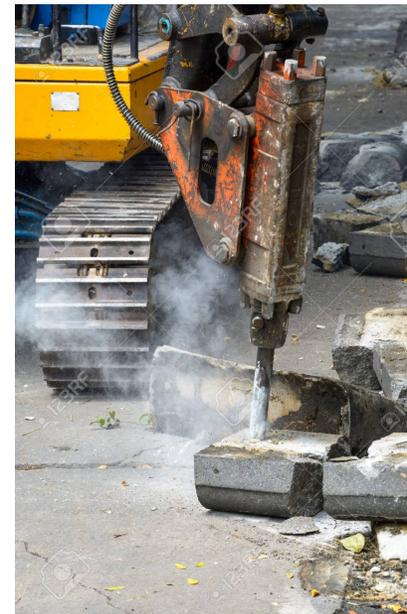
- Orientado a especies
 - Podemos usar las herramientas que vimos hasta ahora en el curso
- Orientado a otros niveles de organización
 - Ensamblajes, comunidades
 - Paisajes, ecosistemas

- Introducción: paisaje sonoro y ecoacústica
- Componentes del paisaje sonoro
- Índices acústicos
- Procesamiento por “lotes”

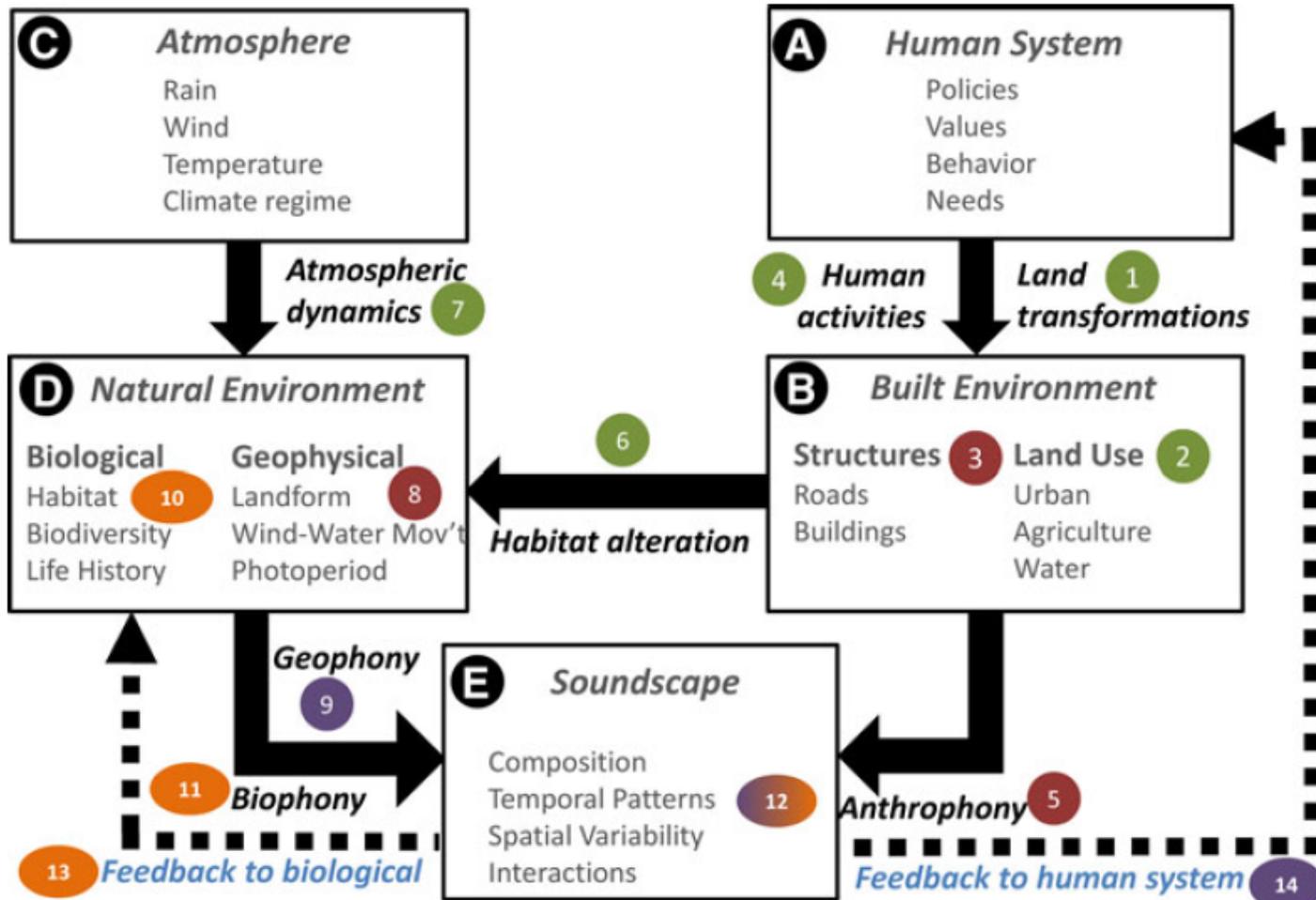
Componentes del paisaje sonoro



- Paisaje sonoro: todos los sonidos que son producidos en un paisaje y que representan el ambiente sonoro para animales y personas
- 3 componentes:
 - Geofonías: lluvia, viento, truenos, etc.
 - Biofonías: sonidos naturales de origen biológico
 - Antropofonías (tecnofonías): sonidos producidos por humanos y sus tecnologías



Componentes del paisaje sonoro



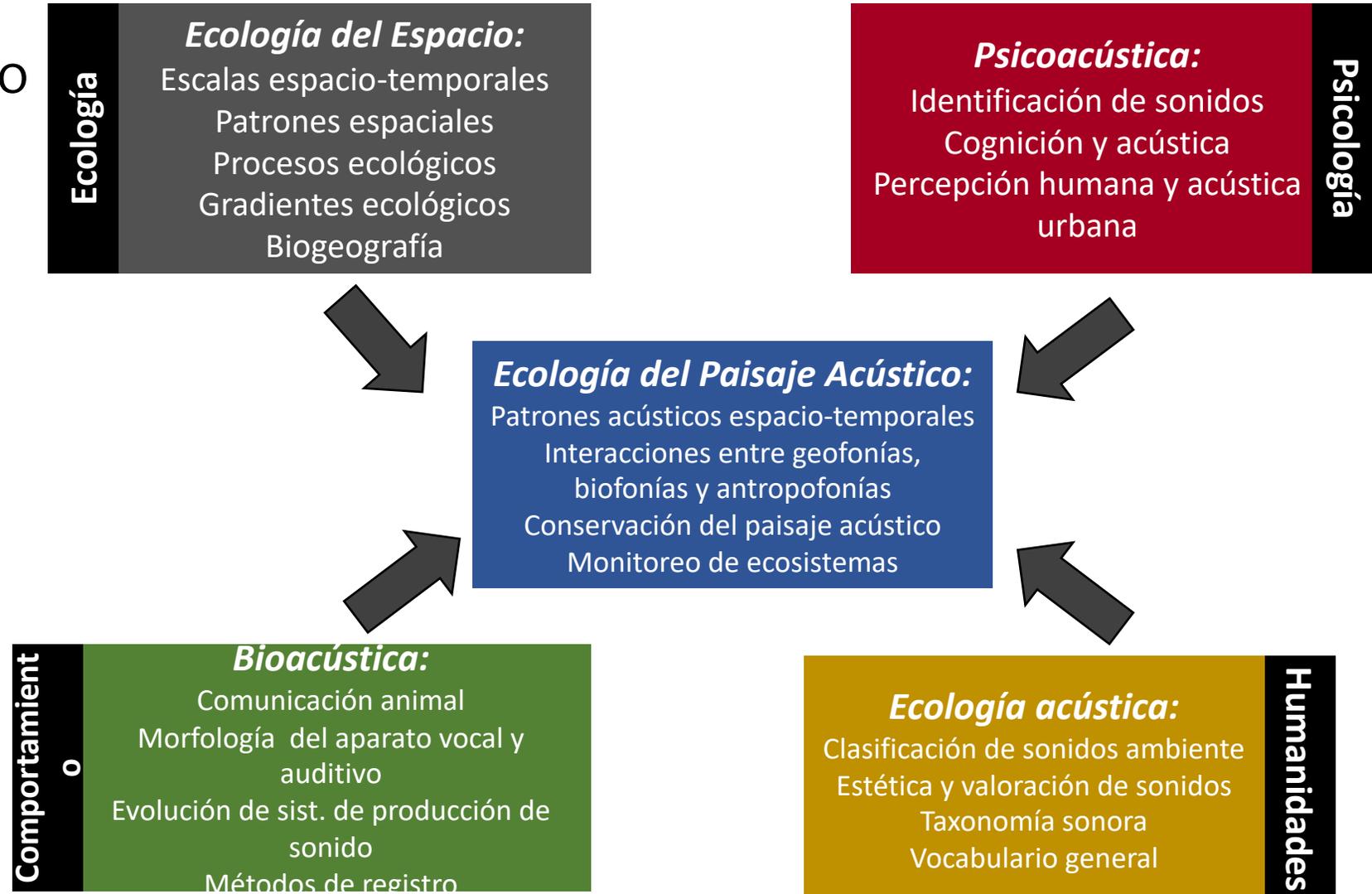
Ecología del paisaje sonoro

- Es más que estudiar el paisaje sonoro
 - El paisaje sonoro es el resultado de procesos que son afectados por la estructura y dinámica del paisaje (geográfico)
 - Pero... cada lugar, habitat, territorio, paisaje y ecosistema tiene un paisaje sonoro asociado, que es como una “huella sonora”
- La ecología del paisaje sonoro tiene el potencial de una herramienta eficiente para describir fenómenos complejos a diferentes escalas:
 - Comunidades, ecosistemas, paisajes
 - Ambientes naturales vs. Ambientes antropizados

Componentes del paisaje sonoro



Ecología del paisaje sonoro



Patrones a nivel de paisaje

- Geográfico
 - Tamaño y forma
 - Bordes / complejidad
 - Distribución espacial
 - Diversidad, heterogeneidad
- Acústico
 - Patrones de frecuencia
 - Riqueza espectral
 - Patrones temporales
 - fenologías
 - Dimensión espacial del sonido (mapeo)
 - Gradientes de disturbio
 - Interacciones sonoras

¿Preguntas?

Herramientas para el estudio del paisaje sonoro

- Registro
- Análisis
- Integración en el paisaje

Herramientas para el estudio del paisaje sonoro

- Registro
- Análisis
- Integración en el paisaje

- Fueron desarrollados en forma bastante reciente para estimar la “complejidad” o “diversidad” del ambiente sonoro
- A partir de estos índices se puede hacer inferencias sobre la composición, dinámica y funcionamiento de los sistemas
- A pesar de ser una herramienta “nueva”, se han desarrollado una enorme cantidad
- Dos grandes familias:
 - Índices de α diversidad: intra-unidad
 - Índices de β diversidad: entre unidades

INDICES α

- Se vinculan a aspectos tales como riqueza (número de unidades) y equitatividad (abundancia relativa) de cada unidad.
 - índices que utilizan la **amplitud** o **intensidad**, es decir, la energía acústica;
 - índices que estiman un nivel de **complejidad** en términos de **frecuencia**, **amplitud**, y/o en el eje **temporal**;
 - índices que tienen en cuenta los tres **componentes** de un paisaje sonoro (biofonías, geofonías y antropofonías)

Herramientas: Índices acústicos



INDICES α

Name	Function	Package	Reference
Acoustic Complexity Index	ACI ()	seewave	Pieretti et al. (2011)
Acoustic diversity index	acoustic_complexity()	soundecology	Villanueva-Rivera et al. (2011)
	acoustic_diversity()	soundecology	
Acoustic entropy index	H ()	seewave	Sueur et al. (2008b)
Acoustic evenness index	acoustic_evenness ()	soundecology	Villanueva-Rivera et al. (2011)
Acoustic richness index	AR ()	seewave	Depraetere et al. (2012)
Bioacoustic index	bioacoustic_index ()	soundecology	Boelman et al. (2007)
Frequency peaks number	fpeaks ()	seewave	Gasc et al. (2013b)
Amplitude index	M ()	seewave	Depraetere et al. (2012)
Normalized difference soundscape index	NDSI ()	seewave	Kasten et al. (2012)
Spectral entropy	ndsi ()	soundecology	Sueur et al. (2008b)
	sh ()	seewave	
Temporal entropy	th ()	seewave	Sueur et al. (2008b)

Herramientas: Índices acústicos



INDICES α

Name	Function	Package	Reference
Acoustic Complexity Index	ACI ()	seewave	Pieretti et al. (2011)
Acoustic diversity index	acoustic_complexity ()	soundecology	Villanueva-Rivera et al. (2011)
	acoustic_diversity ()	soundecology	
Acoustic entropy index	H ()	seewave	Sueur et al. (2008b)
Acoustic evenness index	acoustic_evenness ()	soundecology	Villanueva-Rivera et al. (2011)
Acoustic richness index	AR ()	seewave	Depraetere et al. (2012)
Bioacoustic index	bioacoustic_index ()	soundecology	Boelman et al. (2007)
Frequency peaks number	fpeaks ()	seewave	Gasc et al. (2013b)
Amplitude index	M ()	seewave	Depraetere et al. (2012)
Normalized difference soundscape index	NDSI ()	seewave	Kasten et al. (2012)
Spectral entropy	ndsi ()	soundecology	Sueur et al. (2008b)
	sh ()	seewave	
Temporal entropy	th ()	seewave	Sueur et al. (2008b)

Índice de Complejidad Acústica (ACI)

- contrasta la diferencia de amplitud entre una ventana de tiempo (corta) y la siguiente.
- el ACI es sensible a la irregularidad típica de las biofonías, sobre todo del canto de las aves, mientras que es relativamente insensible al sonido persistente de intensidad constante (eg. insectos, geo y antropofonías).

Índice de Complejidad Acústica (ACI)

```
# cargar los paquetes seewave y tuneR
```

```
>library(seewave)
```

```
>library(tuneR)
```

```
# leemos y cargamos el Wave object ejemplo
```

```
>ejemplo <- readWave("ejemplo.wav")
```

```
>ejemplo
```

```
# cálculo del índice
```

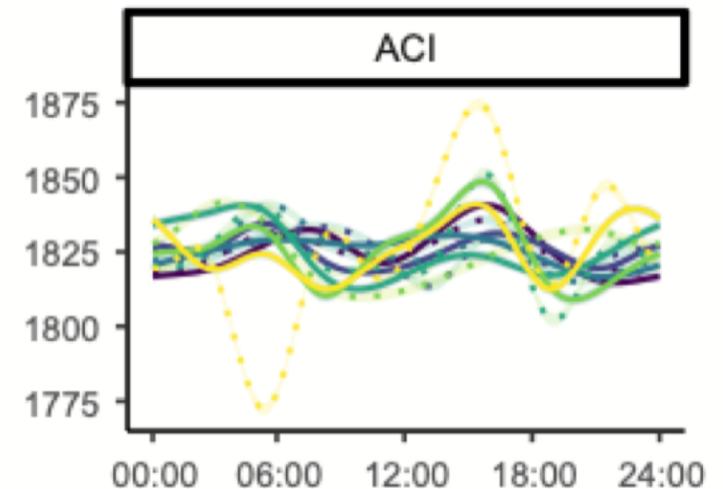
```
>aci <- ACI(ejemplo)
```

```
>aci
```

```
# podemos "personalizar el índice"
```

```
aci <- ACI(ejemplo, w1=512, ovlp=0,  
          wn="hanning", flim=c(2,8))
```

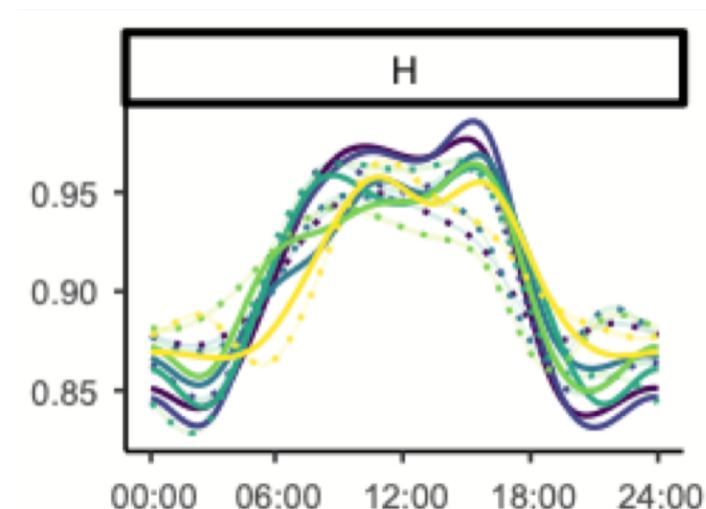
```
aci
```



Bradfer-Lawrence et al. 2019 (Methods Ecol & Evol)

Índice de Entropía Acústica (H)

```
# cálculo del índice  
>h <- H(ejemplo)  
>h  
  
# también lo podemos calcular como el producto de la #  
# entropía temporal ( $H_t$ ) por la entropía espectral ( $H_f$ )  
>ejemplo.env <- env(ejemplo, plot=FALSE)  
>mspec.ejemplo <- meanspec(ejemplo,  
                             plot=FALSE)  
>h' <- th(ejemplo.env)*sh(mspec.ejemplo)  
>h'
```



Bradfer-Lawrence et al. 2019 (Methods Ecol & Evol)

Herramientas: Índices acústicos



Índice Espectral de Diferencia Normalizada (NDSI)

```
# para calcular este índice primero hacemos un “bineado”  
# del espectro
```

```
>sdspec.ejemplo <-soundscapespec(ejemplo, plot=TRUE)
```

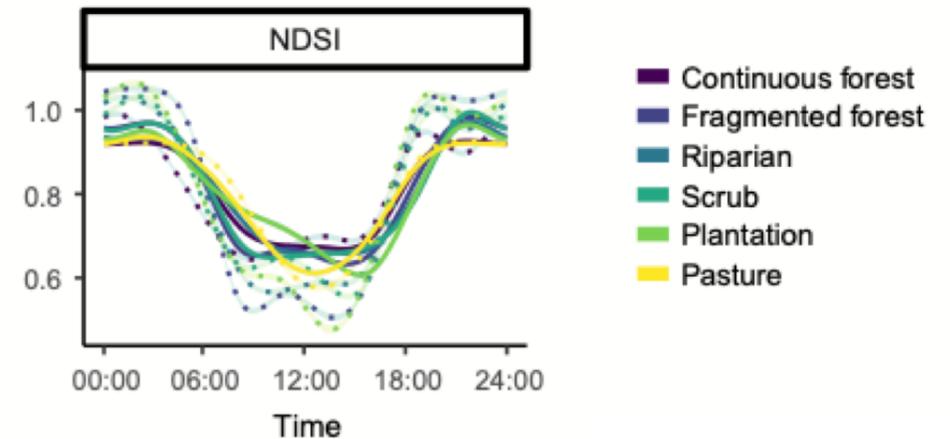
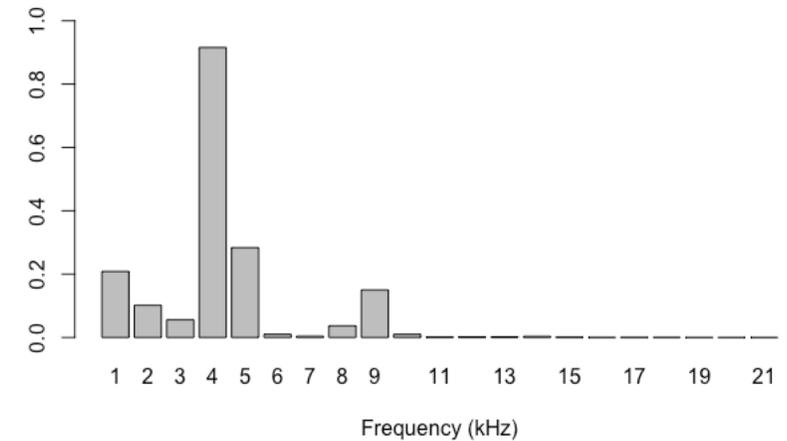
```
# luego calculamos el índice...
```

```
>ndsi <- NDSI(sdspec.ejemplo)  
>ndsi
```

```
# ... que podemos “personalizar”
```

```
>ndsi' <- NDSI(sdspec.ejemplo, anthropophony=1,  
              biophony=1:20)
```

```
>ndsi'
```



Bradfer-Lawrence et al. 2019 (Methods Ecol & Evol)

INDICES β

- Se enfocan en estimar la similitud o diferencia entre la colecciones de unidades que se registran en cada sitio.
 - Si bien hay varios índices, su uso es menos extendido que el de los índices α
 - La huella sonora puede variar en distintas dimensiones (temporal, espectral y amplitud) y eso dificulta las comparaciones
 - En general la tendencia es trabajar sobre el STFT promedio de cada archivo, escalando cada espectro promedio por su integral, y calculando la diferencia para cada bin de frecuencia (el bineado tiene que ser el mismo para los archivos comparados).

Name	Function	Package	Reference
Temporal dissimilarity	<code>diffenv()</code>	seewave	Sueur et al. (2008b)
Cumulative spectral dissimilarity	<code>diffcumspec()</code>	seewave	Lellouch et al. (2014)
Spectral dissimilarity	<code>diffspec()</code>	seewave	Sueur et al. (2008b)
Wave dissimilarity	<code>diffwave()</code>	seewave	Sueur et al. (2008b)
Itakura-Saito distance	<code>itakura.dist()</code>	seewave	–
Kullback-Leibler distance	<code>kl.dist()</code>	seewave	Gasc et al. (2013a)
1-Mutual information	<code>1-symba()</code>	seewave	Cazelles (2004)
Kolmogorov-Smirnov distance	<code>ks.dist()</code>	seewave	Gasc et al. (2013a)
Log-spectral distance	<code>logspec.dist()</code>	seewave	–
Relative frequency dissimilarity	<code>100-simspec()</code>	seewave	Deecke and Janik (2006)
Correlation-based dissimilarity	<code>1-cor()</code>	stats	Lellouch et al. (2014)
RV dissimilarity	<code>1-coeffRV()</code>	FactoMineR	Gasc et al. (2013a)

Índice de Diferencia Espectral (D_f)

```
# cargar los paquetes seewave y tuneR
```

```
>library(seewave)
```

```
>library(tuneR)
```

```
# leemos y cargamos los Wave objects
```

```
>pas <- readWave("6AM_pasarela.wav")
```

```
>taj <- readWave("6AM_tajamares.wav")
```

```
# calculamos meanspec, el espectro de frecuencia
```

```
# promedio de cada objeto
```

```
>pas.mspect <- meanspec(pas, plot=TRUE)
```

```
>taj.mspect <- meanspec(taj, plot=TRUE)
```

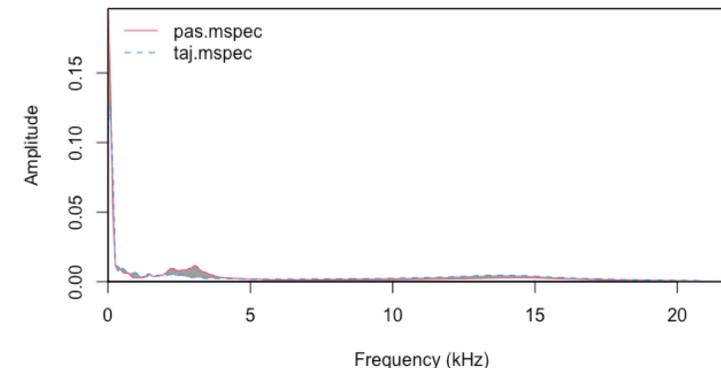
```
# podemos “personalizar” meanspec
```

```
meanspec(wave, f, w1 = 512, wn="hanning",  
         ovlp=0, norm=TRUE)
```

```
# calculamos el índice
```

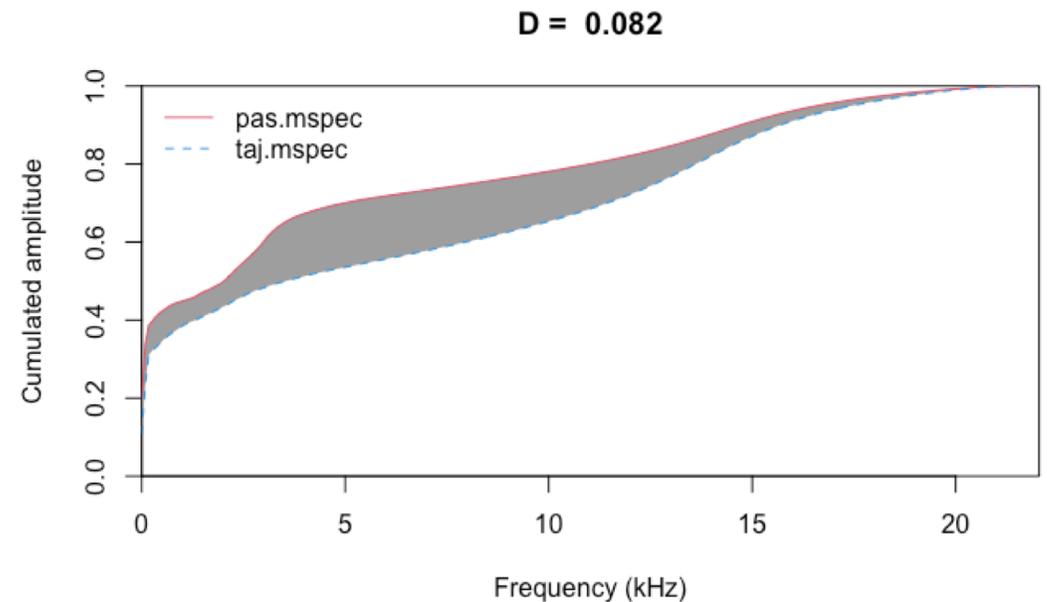
```
>Df <- diffspec(pas.mspect, taj.mspect,  
               plot=TRUE)
```

D = 0.216



Índice de Diferencia Espectral Acumulada (D_{cf})

```
# Procedemos igual que en el índice anterior y luego  
# calculamos el índice  
>Dcf <- diffcumspec(pas.mspect, taj.mspect,  
                    plot=TRUE)
```

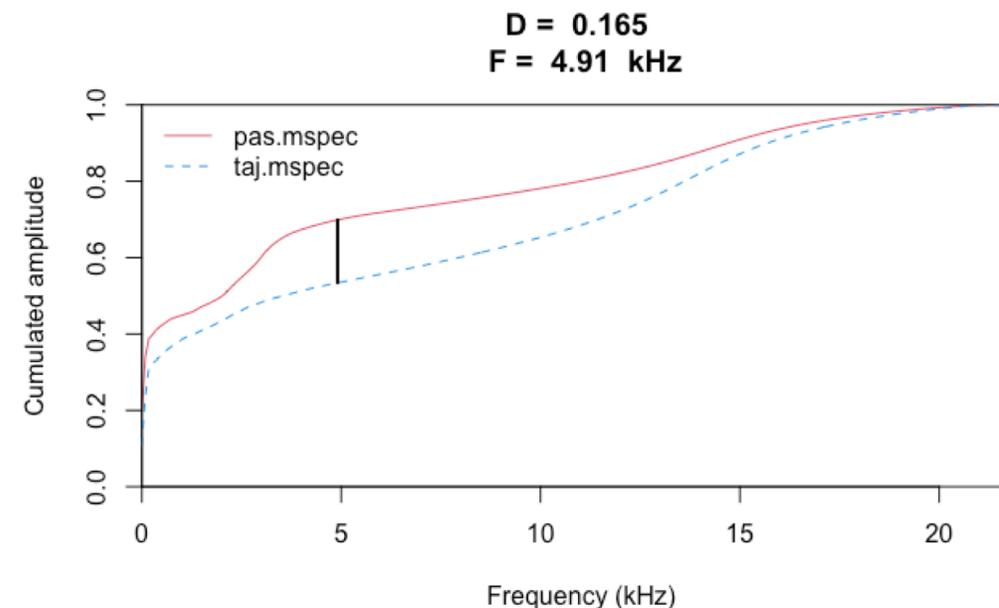


Herramientas: Índices acústicos



Índice de Diferencia Espectral Acumulada (D_{cf})

```
# Procedemos igual que en el índice anterior y luego  
# calculamos el índice  
> Dks <- ks.dist(pas.mspect, taj.mspect,  
                 plot=TRUE)
```



- Introducción: paisaje sonoro y ecoacústica
- Componentes del paisaje sonoro
- Herramientas: Índices acústicos
- Procesamiento por “lotes”

INDICES α

- Muchas veces precisamos calcular varios índices para comparar, y también hacerlo para varios archivos
- Aquí es donde es muy útil el *batch processing* (procesamiento por lotes)

INDICES α

```
>oldwd <- getwd()
>setwd("~/Dropbox/docencia/cursos/acustica 2021/clases/clase8/tajamares")
>tajamares <- dir(pattern = "wav$")
```

```
#calculamos 5 índices: Ht, Hf, H, ACI, NDSI
```

```
indices <- function(x){
  x <- readWave(x)
  return(c(sh(meanspec(x, plot=FALSE)),
           th(env(x, plot=FALSE)),
           H(x),
           ACI(x),
           NDSI(soundscapespec(x, plot=FALSE))
         )
        )
}
```

INDICES α

```
#Preparamos un objeto (data frame) donde se irán escribiendo  
#los resultados de la función "indices"
```

```
>n <- length(tajamares)  
>num <- rep(NA, n)  
>res.tajamares <- data.frame(Hf=num, Ht=num, H=num, ACI=num, NDSI=num,  
                             row.names=files)
```

```
# y usamos la función en cada espectro promedio con un bucle "for"
```

```
>for(i in 1:n) res.tajamares[i,] <- indices(tajamares[i])
```

INDICES α

podemos ver la tabla con todos los índices

```
>head(res.tajamares)
#                                #                                Hf                                Ht                                H
#tajamares_20130921_060000.wav 0.8393682 0.9900436 0.8310111
#tajamares_20130921_070000.wav 0.7310582 0.9897976 0.7235996
#tajamares_20130921_120000.wav 0.6954713 0.9770823 0.6795327
#tajamares_20130921_170000.wav 0.6316979 0.9573749 0.6047717
#tajamares_20130921_190000.wav 0.8252178 0.9757501 0.8052063
#tajamares_20130921_180000.wav 0.7870982 0.9783860 0.7700858
#tajamares_20130921_210000.wav 0.7209183 0.9808744 0.7071303
#                                #                                ACI                                NDSI
#tajamares_20130921_060000.wav 148.9183 0.4035317
#tajamares_20130921_070000.wav 154.6593 0.4239623
#tajamares_20130921_120000.wav 153.8542 0.7473321
#tajamares_20130921_170000.wav 201.6989 0.4677648
#tajamares_20130921_180000.wav 148.4734 0.6587256
#tajamares_20130921_190000.wav 155.6476 0.7847246
#tajamares_20130921_210000.wav 180.5695 0.9488619
```



J. Sueur, Sound analysis and synthesis with R.
Springer, 2018. Cap. 16