



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES  
DEPARTAMENTO DE COMPUTACIÓN

# Mimetización entre interlocutores

Tesis presentada para optar al título de  
Licenciado en Ciencias de la Computación

Juan Manuel Pérez

Director: Agustín Gravano

Codirector: Ramiro Gálvez

Buenos Aires, 2015



# MEDICIÓN DE LA MIMETIZACIÓN ENTRE INTERLOCUTORES UTILIZANDO SERIES DE TIEMPO

El *entrainment* (mimetización) es un fenómeno inconsciente que se manifiesta a través de la adaptación de posturas, forma de hablar, gestos faciales y otros comportamientos entre dos o más interactores. A su vez, la ocurrencia de esta mimetización está fuertemente emparentada con el sentimiento de empatía y compenetración entre los participantes.

En esta tesis, nos proponemos explorar una técnica algorítmica para detectar el *entrainment* entre variables prosódicas de dos personas. Esta técnica nos permitirá determinar si existe o no convergencia para ciertos parámetros, y ver como está ésto correlacionado con variables sociales tales como la empatía, la compenetración con la tarea, y otras.

**Palabras claves:** Guerra, Rebelión, Wookie, Jedi, Fuerza, Imperio (no menos de 5).



## MEASURING ENTRAINMENT BETWEEN SPEAKERS USING TIME SERIES

In a galaxy far, far away, a psychopathic emperor and his most trusted servant – a former Jedi Knight known as Darth Vader – are ruling a universe with fear. They have built a horrifying weapon known as the Death Star, a giant battle station capable of annihilating a world in less than a second. When the Death Star’s master plans are captured by the fledgling Rebel Alliance, Vader starts a pursuit of the ship carrying them. A young dissident Senator, Leia Organa, is aboard the ship & puts the plans into a maintenance robot named R2-D2. Although she is captured, the Death Star plans cannot be found, as R2 & his companion, a tall robot named C-3PO, have escaped to the desert world of Tatooine below. Through a series of mishaps, the robots end up in the hands of a farm boy named Luke Skywalker, who lives with his Uncle Owen & Aunt Beru. Owen & Beru are viciously murdered by the Empire’s stormtroopers who are trying to recover the plans, and Luke & the robots meet with former Jedi Knight Obi-Wan Kenobi to try to return the plans to Leia Organa’s home, Alderaan. After contracting a pilot named Han Solo & his Wookiee companion Chewbacca, they escape an Imperial blockade. But when they reach Alderaan’s coordinates, they find it destroyed - by the Death Star. They soon find themselves caught in a tractor beam & pulled into the Death Star. Although they rescue Leia Organa from the Death Star after a series of narrow escapes, Kenobi becomes one with the Force after being killed by his former pupil - Darth Vader. They reach the Alliance’s base on Yavin’s fourth moon, but the Imperials are in hot pursuit with the Death Star, and plan to annihilate the Rebel base. The Rebels must quickly find a way to eliminate the Death Star before it destroys them as it did Alderaan (aprox. 200 palabras).

**Keywords:** War, Rebellion, Wookie, Jedi, The Force, Empire (no menos de 5).

## ToDo

	P.
1. Robar un poco de Pieraccini y Huerta - Where do we go from here . . . . .	2
2. Agregar más ejemplos y referencias . . . . .	2
3. Mencionar CAT, fenómeno ubícuo -en teoría- . . . . .	2
4. Mejorar el dibujo éste y agregarle una descripción . . . . .	7
5. Agustín, chequea si esto que puse está bien . . . . .	7
6. Kousidis menciona algo acerca de los problemas que se dan cuando hay feed-back...¿qué deberíamos considerar al respecto de esto? . . . . .	8
7. Mandar todo esto a nuestra definición de TAMA . . . . .	8
8. En los lugares donde digo frame, ¿puedo decir fonemas? No explico bien a qué me refiero con frame . . . . .	12
9.Cuál es la relación entre NHR y VCD2TOTFRAMES? Uno es 1 -¡el otro¿? . . . .	12
10. Agustín, pásame más tela para cortar de jitter, shimmer y NHR . . . . .	12
11. Agustín, hay alguna traducción de backchanneling? . . . . .	13
12. Gráfico de ejemplo de pooled ols . . . . .	20
13. Mover esto a antecedentes . . . . .	20
14. Escribir acá, y poner tablas sobre <i>absolute entrainment</i> en pooled . . . . .	21
15. Vale la pena escribir discusión en pooled? . . . . .	21
16. Agregar gráfico de ejemplo de efectos fijos . . . . .	26
17. Escribir conclusiones! . . . . .	29
18. Mandar esto a un apéndice! . . . . .	32

# Índice general

<b>1.. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Sistemas de diálogo . . . . .	2
1.2. Mimetización . . . . .	2
1.3. Midiendo la mimetización . . . . .	3
1.4. Objetivo del estudio . . . . .	3
<b>2.. Antecedentes</b>	<b>5</b>
2.1. Descripción TAMA . . . . .	6
2.2. Análisis Bivariado . . . . .	7
<b>3.. Método y materiales</b>	<b>9</b>
3.1. Columbia Game Corpus . . . . .	10
3.1.1. Juego de Objetos . . . . .	10
3.1.2. Anotaciones sobre comportamiento social . . . . .	11
3.1.3. Extracción de variables acústico/prosódicas . . . . .	12

3.2.	Modificaciones a TAMA . . . . .	12
3.2.1.	Selección de Ventana . . . . .	13
3.3.	Time plots . . . . .	14
3.4.	Panel de datos . . . . .	15
3.5.	Análisis de regresión . . . . .	17
3.5.1.	Modelo clásico de Regresión Lineal . . . . .	17
3.5.2.	Nuestro modelo . . . . .	18
<b>4..</b>	<b>Regresión Lineal Agrupada</b>	<b>19</b>
4.1.	Modelo agrupado o <i>pooled</i> . . . . .	20
4.2.	Resultados sobre <i>entrainment</i> . . . . .	20
4.3.	Absolute <i>entrainment</i> , o <i>disentrainment</i> . . . . .	20
4.4.	Resultados sobre <i>absolute entrainment</i> . . . . .	21
4.5.	Discusión . . . . .	21
<b>5..</b>	<b>Regresión Lineal con Efectos Fijos</b>	<b>25</b>
5.1.	Modelo de Efectos Fijos . . . . .	26
5.2.	Definición Formal de Efectos Fijos . . . . .	26
5.3.	Resultados . . . . .	26
<b>6..</b>	<b>Conclusiones y trabajo futuro</b>	<b>29</b>
<b>7..</b>	<b>Apéndice</b>	<b>31</b>
7.1.	Series de Tiempo . . . . .	32
7.1.1.	Procesos estocásticos . . . . .	33
7.1.2.	Estacionariedad . . . . .	33
<b>8..</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>35</b>





## 1. INTRODUCCIÓN

## 1. Robar un poco de Pieraccini y Huerta - Where do we go from here

### 1.1. Sistemas de diálogo

Los sistemas de diálogo humano-computadora son cada vez más frecuentes, y sus aplicaciones comprenden una amplia gama de rubros: desde aplicaciones móviles, motores de búsqueda, juegos, o tecnologías de asistencia para ancianos y discapacitados.

#### 2. Agregar más ejemplos y referencias

Si bien es cierto que estos sistemas logran captar la dimensión lingüística de la comunicación humana, tienen un déficit importante a la hora de procesar y transmitir el aspecto superestructural de la comunicación oral, que radica en el intercambio de afecto, emociones, actitudes y otras intenciones de los participantes. Éste problema puede verse en cualquier sistema que interactúe sintetizando lenguaje humano: por ejemplo, las aplicaciones telefónicas que atienden automáticamente a sus clientes. Stanley Kubrick y Arthur C. Clarke predijeron esto a la perfección, cuando en “2001: Una Odisea en el Espacio” (1968) dotaron a *HAL* de una voz monótona y robótica, casi lobotomizada. Otro problema grave que sufren estos sistemas humano-computadora es que asumen que sus interacciones de “a turnos”, cuando las conversaciones entre humanos suelen distar bastante de ese modelo.

Dentro de las cualidades del lenguaje oral, una de las más distintivas es la *prosodia*, qué es la dimensión que capta *cómo* se dicen las cosas, en contraposición a *qué* se está manifestando. Posee varias componentes acústico/prosódicas: por ejemplo, el tono/pitch, la intensidad o volumen, la calidad de la voz, la velocidad del habla y otras. Un manejo adecuado de éstas componentes es lo que, hoy día, distingue indudablemente una voz humana de una artificial. Ésta carencia de habilidad sobre la prosodia conlleva cierta dificultad en la interacción con agentes conversacionales, que suelen ser calificados como “mecánicos” o “extraños” en su forma de comunicarse.

En pos de mejorar el entendimiento entre agentes conversacionales y sus usuarios, resulta de vital importancia poder entender y modelar las variaciones prosódicas de la comunicación oral. Ésto se traduciría tanto en una mejor apreciación de lo que quiere comunicar el usuario, como en una mayor naturalidad de la voz sintetizada por el agente.

### 1.2. Mimetización

En la literatura de Psicología del Comportamiento se ha observado con frecuencia que, bajo ciertas condiciones, cuando una persona mantiene una conversación, ésta modifica su manera de actuar aproximándola a la de su interlocutor. En una reseña de este tema se describe a este fenómeno como una “imitación no consciente de posturas, maneras, expresiones faciales y otros comportamientos del compañero interaccional” [CB99, p. 893], y conjeturan que es más fuerte en individuos con empatía disposicional. En otras palabras, personas con predisposición a buscar la aceptación social modifican su comportamiento en forma más marcada para aproximarlos a sus interlocutores.

#### 3. Mencionar CAT, fenómeno ubícuo -en teoría-

Esta modificación del comportamiento ha sido observada también en la manera de hablar. Por ejemplo, los interlocutores adoptan las mismas formas léxicas para referirse a las cosas, negociando tácitamente descripciones compartidas, en especial para cosas que resulten poco familiares [Bre96]. Estudios más recientes sugieren que esto también es cierto para el uso de estructuras sintácticas [RKM06]. Este fenómeno subconsciente es conocido

como mimetización, alineamiento, adaptación o convergencia, y también con el término inglés *entrainment*, y se ha mostrado que juega un rol importante en la coordinación de diálogos, facilitando tanto la producción como la comprensión del habla en los seres humanos. En nuestro caso, nos interesa principalmente el *entrainment* de la prosodia.

### 1.3. Midiendo la mimetización

Muchos estudios han examinado la mimetización prosódica, listados en [DLSVC14]. Un número importante de ellos se han basado en la premisa de la mimetización como un fenómeno lineal, en el cual la convergencia “va sucediendo” a lo largo de la conversación [BSD95]. Estos estudios dividen las conversaciones en varias partes, y verifican que la diferencia absoluta entre los valores medios (de las variables a/p) y sus desviaciones se aproxime en las últimas partes de la interacción. Sin embargo, este enfoque de la mimetización niega su faceta dinámica: los interlocutores pueden estar inactivos y luego hablar, pueden pasar por varias etapas como escuchar, pensar, discutir un punto, etc. En [LH11] se reportó que éste es un fenómeno no solamente lineal, sino también dinámico, donde los interlocutores van coincidiendo en el análisis por turnos.

Un problema común que surge a la hora de calcular estas métricas es el hecho de que las conversaciones no están alineadas en el tiempo, ni se dan en turnos. Nos preguntamos entonces qué partes del diálogo de un interlocutor deberían compararse con qué otras partes. Un enfoque de comparar interlocuciones uno a uno es demasiado simple y no captura situaciones de diálogo reales, mucho más dinámicas y con solapamiento casi constante.

Para atacar estos inconvenientes, utilizamos el método *TAMA* (Time Aligned Moving Average) [KDW<sup>+</sup>08], que consiste en separar en ventanas de tiempo el diálogo, y promediar los valores de las variables prosódicas dentro de cada una. Este método es muy similar a aplicar un filtro de Promedio Móvil (Moving Average), lo que da el nombre a la técnica. Al separar el diálogo en ventanas de tiempo, podemos construir dos series de tiempo en base a cada interlocutor. Estas abstracciones son mucho más tratables que tener una secuencia de elocuciones de parte de cada hablante, y nos permiten efectuar análisis bien conocidos, uno de los cuáles nos permite construir una medida del *entrainment*.

### 1.4. Objetivo del estudio

En el presente estudio, utilizaremos la técnica de *TAMA* sobre el *Columbia Games Corpus*. Este conjunto de conversaciones consta de doce conversaciones entre dos participantes angloparlantes, quienes interactúan mediante un juego a través de computadoras. El corpus ha sido anotado manualmente con variables que describen la percepción social de la conversación; por ejemplo: ¿el sujeto parece comprometido con el juego? ¿al sujeto no le agrada su compañero?.

Luego de utilizar la técnica *TAMA* para calcular los *entrainment* correspondientes, veremos si existe alguna relación significativa entre el valor medido y las percepciones sociales sobre las conversaciones. Uno esperaría, por la literatura previa, que valores altos de *entrainment* se relacionen con valores altos de las variables sociales positivas. A su vez, compararemos los resultados obtenidos con otras medidas de *entrainment* y validaremos la consistencia de la técnica del estudio con éstas.



## **2. ANTECEDENTES**



Fig. 2.1: Gráfico de la separación del diálogo en ventanas

En esta sección describiremos el método TAMA desarrollado en [KDW<sup>+</sup>08] que hemos utilizado como medida de *entrainment* en el presente trabajo.

### 2.1. Descripción TAMA

En [KDW<sup>+</sup>08] se introdujo un método novedoso para el análisis del *entrainment* acústico/prosódico. Esta técnica consiste, a grandes rasgos, en armar dos series de tiempo para cada uno de los interlocutores y luego utilizar herramientas de análisis sobre las series construídas. Una serie de tiempo, en términos coloquiales, es una colección cronológica de observaciones, como pueden ser los valores de las acciones de una empresa a lo largo del tiempo, o la cantidad de lluvia medida en *ml* para cada mes de cierto año. En el apéndice 7.1 describimos más en detalle los conceptos básicos sobre series de tiempo.

Un problema que resuelve esta técnica es el del alineamiento: si intentásemos comparar cada segmento del habla (utterance) con otros, ¿cómo los alineamos? Una posibilidad sería uno a uno, aunque ésto es muy simplista y poco representativo de la realidad. Al introducir el concepto de series de tiempo, podemos olvidarnos de los segmentos del habla y simplemente utilizar estas construcciones.

Para construir la serie de tiempo de cada interlocutor debemos, en primer lugar, dividir el diálogo en ventanas solapadas de igual tamaño. A la diferencia entre ventana y ventana llamaremos *frame step*, y al tamaño de ventana *frame length*. Consideraremos sólo los segmentos de habla que se encuentren dentro de cada ventana; aquellos segmentos que atraviesen los límites de las ventanas son cortados para que se mantengan dentro de éste. En la figura 2.1 se ilustra el proceso.

Como producto de ésto, nuestro corpus queda dividido en una sucesión de ventanas solapadas. En el trabajo original, se usa un *step* de 10 segundos, y un tamaño de ventana de 20 segundos. Ésto da como resultado un solapamiento del 50 %. En la sección 3.2.1, describimos la elección del tamaño de ventana que hicimos en base al corpus que utilizamos.

Una vez que la conversación se ha partido en ventanas mediante el proceso descrito, se calculan los valores de la serie de tiempo para cada interlocutor de cada una de ellas. Ésto se hace mediante el siguiente cálculo:

$$\mu = \sum_{i=1}^N f_i d'_i \quad (2.1)$$

donde  $i$  itera sobre las elocuciones dentro del *frame*,  $d'_i$  es la duración relativa del segmento (respecto del tiempo total hablado) y  $f_i$  es el valor de la *feature* que estamos midiendo.  $d'_i$  se calcula con la fórmula

$$dr_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^N d_i} \quad (2.2)$$

donde  $d_i$  es la longitud en segundos de los segmentos del habla en el frame.

Como se ve en 2.1, el valor que calculamos es una media ponderada del valor de la feature por la duración de las locuciones. Así, por ejemplo, al calcular una serie de tiempo sobre la intensidad, la contribución de interjecciones (*ah!* por ejemplo), que suelen tener altos valores *volumen*, estará disminuida por sus breves duraciones.

Una vez obtenidas, dado un feature acústico/prosódico y una conversación, dos series de tiempo mediante el cálculo ventana a ventana de 2.1, necesitamos efectuar algún tipo de análisis sobre éstas para obtener una medida del *entrainment*.

**4. Mejorar el dibujo éste y agregarle una descripción**

## 2.2. Análisis Bivariado

En [KDMC08] se continúa el trabajo en series de tiempo, y se efectúan análisis tanto por cada serie por separado como para las dos en conjunto, lo cual se llama “Análisis bivariado” en la terminología de series de tiempo.

Una posible medida del *entrainment* se podría dar midiendo cuánto influye una serie sobre otra; este *entrainment* sería direccional: queremos medir cuánto influye el interlocutor  $A$  al interlocutor  $B$  y viceversa. Puede darse el caso en que ambos tengan fuerte interacción, en tal caso hablamos de *feedback*. En [GBLH15] este concepto es definido como *forward influence*.

**5. Agustín, chequea si esto que puse está bien**

Para medir cuánto se mimetizan las dos series, utilizaremos la función de correlación cruzada (c.c.f.) [Cha13], que mide cuánto se parecen la serie  $X$  e  $Y$  aplicando un desplazamiento  $k$ , dándonos un valor entre  $-1$  y  $1$  (similar a la correlación de la estadística clásica). Podemos aproximar la c.c.f. mediante la fórmula de la correlación cruzada muestral.

$$r_{AB}(k) = \begin{cases} \frac{\sum_{t=|k|+1}^n (A_t - \mu_A)(B_{t-k} - \mu_B)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (A_t - \mu_A)^2 \sum_{t=1}^n (B_t - \mu_B)^2}} & \text{si } k \geq 0 \\ \frac{\sum_{t=|k|+1}^n (B_t - \mu_B)(A_{t-k} - \mu_A)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (B_t - \mu_B)^2 \sum_{t=1}^n (A_t - \mu_A)^2}} & \text{si } k < 0 \end{cases} \quad (2.3)$$

Podemos ver que, si  $k \geq 0$ , lo que hacemos es, a grandes rasgos, calcular la correlación de Pearson entre  $A_{t+k}$  e  $B_t$ . Si  $k < 0$ , lo hacemos entre  $A_t$  e  $B_{t+k}$ . Viéndolo de otra forma, si  $k \geq 0$ , estamos midiendo cuánto influye  $B$  sobre  $A$  contemplando un desplazamiento de  $k$  puntos; si  $k \leq 0$  medimos la influencia de  $A$  sobre  $B$  a misma distancia.

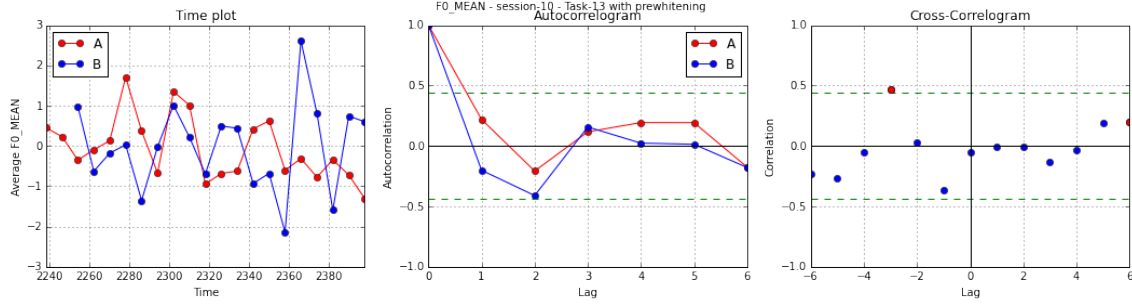


Fig. 2.2: Time-plot producido por TAMA, junto a su autocorrelación y correlación cruzada

Para cada conversación, se grafica entonces el correlograma cruzado, considerando lags tanto positivos como negativos. En 2.2 tenemos un gráfico de los time-plots de dos series de tiempo generadas de una conversación, junto a sus autocorrelogramas (ver 7.1) y sus correlogramas cruzados

**6.Kousidis menciona algo acerca de los problemas que se dan cuando hay feedback...¿qué deberíamos considerar al respecto de esto?**

**7.Mandar todo ésto a nuestra definición de TAMA**

$$A \rightarrow B = \max\{r_{AB}(k), k \leq 0\} \quad (2.4)$$

$$B \rightarrow A = \max\{r_{AB}(k), k \geq 0\} \quad (2.5)$$

$$(2.6)$$

$A \rightarrow B$  es el entrainment direccional de  $A$  hacia  $B$ , que mide cuánto se mimetiza  $B$  a  $A$ . (explicar un poco más ésto)



### **3. MÉTODO Y MATERIALES**



Fig. 3.1: Juego del Columbia Games - Juego de Cartas

En esta sección describiremos tanto el corpus utilizado en el estudio, como así también las modificaciones que efectuamos sobre el método TAMA.

### 3.1. Columbia Game Corpus

Nuestro corpus [Gra09] consiste en doce conversaciones diádicas (i.e., con dos participantes) entre trece personas angloparlantes distintas. Todos los participantes reportaron hablar Inglés Americano Estándar, y no tener problemas de audición. La edad de los participantes se encuentra en el rango de los 20 a 50 años.

Las grabaciones se hicieron en 44 kHz, 16 bits con un canal separado para cada hablante; luego fueron guardadas en 16 kHz para el presente estudio. Cada sesión duró aproximadamente 45 minutos, totalizando 9 horas de diálogos, 70.259 palabras (2.037 únicas) para todo el cuerpo de datos.

En cada sesión, se sentó a dos participantes (quienes no se conocían previamente) en una cabina profesional de grabación, cara a cara a ambos lados de una mesa, y con una cortina opaca colgando entre ellos para evitar la comunicación visual. Los participantes contaron con sendas computadoras portátiles conectadas entre sí, en las cuales jugaron una serie de juegos simples que requerían de comunicación verbal. El primero de ellos, un juego de cartas que consta de tres instancias que no consideramos en el presente estudio. Luego de esto, pasaron al juego que analizamos.

#### 3.1.1. Juego de Objetos

Luego de completar el juego de cartas, los sujetos siguieron interactuando a través del juego de objetos. En éste, la pantalla de cada jugador mostró un tablero con varios objetos, entre 5 y 7, como se ve en la figura 3.2. Todos ellos se encuentran cercanos, con excepción de uno, a quien llamamos el Objetivo.

Para uno de los jugadores (el Descriptor) el Objetivo apareció en una posición aleatoria entre otros objetos. Para el otro jugador, a quien llamaremos el Seguidor, el Objetivo apareció en la parte baja de la pantalla. Entonces, al Descriptor se le encargó describir la posición del Objetivo de manera que el Seguidor pudiera mover su representación del objeto a la misma posición en su pantalla. Luego de una negociación entre ambos jugadores para decidir la mejor posición del objeto, se les asignó a los jugadores una puntuación entre 1 y 100 puntos de acuerdo a qué tan acertado fue el posicionamiento del Seguidor.

Este juego tomó lugar durante 14 tareas. En las primeras cuatro, uno de los sujetos tomó el papel del Descriptor; en los siguientes cuatro invirtieron roles, y en los finales seis



Fig. 3.2: Juego de objetos del Columbia Games

fueron alternando.

### 3.1.2. Anotaciones sobre comportamiento social

Varios aspectos del comportamiento de los jugadores durante los juegos de objetos fueron anotados mediante la herramienta de crowdsourcing *Mechanical Turk*. Cada anotador escuchó un clip de un juego y tuvo que responder a las siguientes preguntas (para cada uno de los sujetos):

- ¿el sujeto parece comprometido con el juego?
- ¿el sujeto dirige la conversación?
- ¿el sujeto contribuye para el éxito del equipo?
- ¿el sujeto alienta a su compañero?
- ¿el sujeto se expresa correctamente?
- ¿al sujeto no le agrada su compañero?
- ¿el sujeto le hace difícil hablar a su compañero?
- ¿el sujeto intenta acaparar la conversación?

entre otras. Cada uno de estos clips fue puntuado por cinco anotadores, que respondieron por sí o por no. El puntaje que recibe cada una de las preguntas (a las cuales llamaremos a partir de ahora *variables sociales*) consiste en la cantidad de respuestas afirmativas que recibió, teniendo un rango de 0 a 5.

### 3.1.3. Extracción de variables acústico/prosódicas

El set de herramientas *Praat* fue utilizado para extraer automáticamente las variables acústico/prosódicas del corpus, para cada tarea de éste. Las variables que medimos fueron el tono, la intensidad, la proporción de vocalizaciones, jitter, shimmer, cantidad de sílabas, cantidad de fonemas, y la proporción de ruido sobre armónicos. Éstos atributos fueron medidos en cada uno de los segmentos de habla del corpus.

Repasemos algunos conceptos que necesitamos para definir las variables acústicas.

- *f0* refiere a la frecuencia fundamental de una onda, que es el recíproco del período de ésta. El *tono* o *pitch* es la percepción que tenemos de la frecuencia fundamental, que nos marca cuán agudos o graves son los sonidos.
- *ENG* refiere al volumen o intensidad de la onda. Ésta se mide por la amplitud de la onda, y es la percepción de cuán fuerte es el sonido.
- *jitter* se refiere a los desplazamientos de la onda de la verdadera periodicidad.
- *shimmer* se refiere, de manera similar al jitter, a la variación de la onda pero respecto de la amplitud
- Un *fonema* es la articulación mínima de un sonido, tanto de vocales como de consonantes. Ejemplos de fonemas son los sonidos de las letras u, a, s, k en español.
- El *noise-to-harmonics* ratio puede considerarse como una medida de calidad de la voz, que cuantifica la proporción de ruido que hay en ésta.

En la siguiente tabla describimos más detalladamente cada una de ellas. Recordemos nuevamente que estas features son medidas en un intervalo.

Variable a/p	Descripción
F0_MEAN	Valor medio de la frecuencia fundamental
F0_MAX	Valor máximo de la frecuencia fundamental
ENG_MEAN	Valor medio de la intensidad
ENG_MAX	Valor máximo de la intensidad
VCD2TOT_FRAMES	Proporción de frames vocalizados sobre totales
NOISE_TO_HARMONICS_RATIO	Noise-to-harmonics descripto anteriormente
SOUND_VOICED_LOCAL_SHIMMER	Shimmer medido
SYLLABES_COUNT	Cantidad de sílabas
SYLLABES_COUNT	Cantidad de sílabas sobre la longitud del intervalo
PHONEMES_COUNT	Cantidad de fonemas
PHONEMES_AVERAGE	Cantidad de fonemas sobre la longitud del intervalo

8.En los lugares donde digo frame, ¿puedo decir fonemas? No explico bien a qué me refiero con frame  
 9.Cuál es la relación entre NHR y VCD2TOTFRAMES? Uno es 1 -¿el otro? 10.Agustín, pásame más tela para cortar de jitter, shimmer y NHR

### 3.2. Modificaciones a TAMA

Al método TAMA descripto en 2.1 le hemos aplicado algunas variaciones, que pasaremos a detallar.

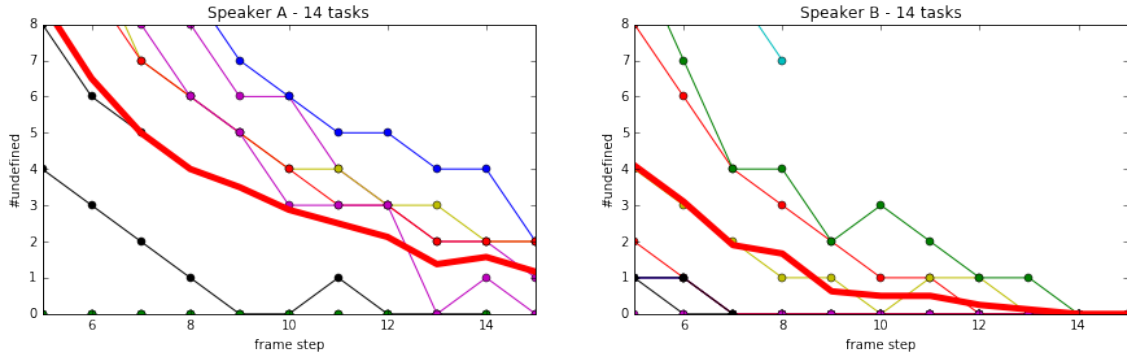


Fig. 3.3: Cantidad de puntos indefinidos en función del step para una sesión en particular, tanto para un interlocutor como para el otro. En rojo se grafica la curva de los promedios.

En primer lugar, [KDMC08] discute la disyuntiva de elegir un tamaño de ventana y step para el método: ventanas demasiado chicas pueden causar que no hayan segmentos de habla en ellas, mientras que un tamaño de ventana demasiado grande suavizaría en exceso la serie de tiempo. A colación de ésto, menciona posibles soluciones para el problema de los puntos faltantes: o bien una interpolación (también mencionado en [DLSVC14]) o repetir el punto anterior de la serie.

Estos enfoques, sin embargo, pueden dar lugar a correlaciones artificialmente altas por la construcción misma de la serie. Por otro lado, descartar aquellas conversaciones que tengan puntos faltantes puede ser demasiado restrictivo y eliminar de nuestro corpus una gran cantidad de datos valiosos. Teniendo estas cosas en mente, decidimos aceptar series de tiempo con datos faltantes, que pueden ser producto de ventanas sin segmentos de habla o con algunos demasiado pequeños que imposibilitan la medición de los parámetros (por ej, interjecciones o backchanneling).

**11. Agustín, hay alguna traducción de backchanneling?**

### 3.2.1. Selección de Ventana

Otro parámetro de la técnica es el tamaño y step de la ventana, que discutiremos en esta sección. En el trabajo [KDMC08] se menciona una elección de *frame step* y *frame length* de 10s y 20s respectivamente. En el caso de nuestro corpus, queremos buscar los parámetros que mejor se ajustan a éste, manteniendo la superposición del 50 % entre ventanas sucesivas.

¿Qué queremos optimizar? La métrica que elegimos para ésto es encontrar un balance entre una ventana no tan grande (para no suavizar en exceso la curva) y que nos reduzca considerablemente la cantidad de indefiniciones; es decir, aquellas ventanas que tomamos en un interlocutor que no tienen ninguna interacción de su parte. Para ver ésto, graficamos la cantidad de indefiniciones en función del step tomado, para ver qué forma tenían estas curvas. En 3.3 podemos ver las indefiniciones en función de los steps para una sesión. Cada tarea tiene su propia curva, y además graficamos el promedio de todas ellas.

Finalmente, y para tener una visión general de lo que ocurría, graficamos una curva promedio de todas las sesiones, que graficamos en 3.4. Dada ésa curva, intentamos aplicar el “método del codo” para ver si podemos encontrar el valor en el cual la pendiente de las indefiniciones se estanca. Si bien es poco preciso hacer ésto, puede observarse que hasta

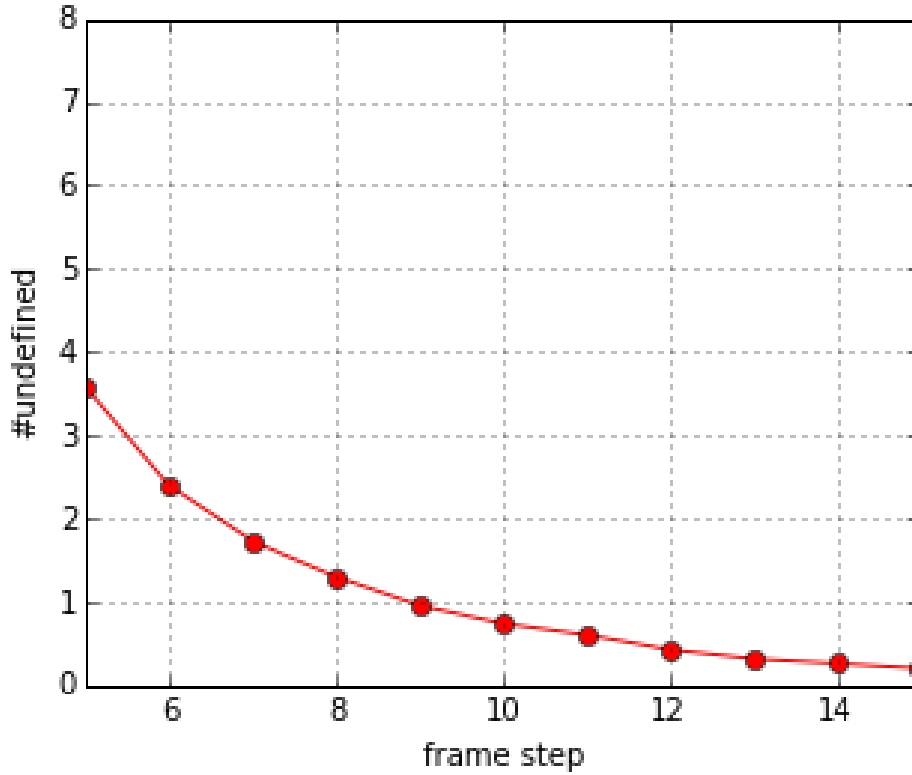


Fig. 3.4: Promedio de cantidad de puntos indefinidos en función del step

8'' – 10'' hay un fuerte descenso de las indefiniciones, que luego se atenúa. Dado que en general tenemos tareas cortas, preferimos tomar 8'' como step, y por ende 16'' como largo de ventana.

### 3.3. Time plots

Usando la técnica descrita con las variaciones que consideramos en la anterior sección, generamos dos series de tiempo para cada tarea. Como antes mencionamos, la ventana elegida es de 16'' con un step de 8'' lo cual da un overlap del 50 %.

Dada una ventana, puede ocurrir que alguno de los interlocutores no haya hablado, o su interacción haya sido demasiado breve como para medir sus variables a/p. Como ya mencionamos en 3.2, y a diferencia de [KDMC08], construimos las series sin ese punto, y sin interpolarlo tampoco.

De estas tareas, sólo nos quedamos con aquellas que tengan al menos 5 puntos definidos para cada serie, de manera que tenga sentido poder calcular la correlación cruzada más adelante. Con ésto, no sólo nos interesa la duración de la charla, sino cierta calidad de las series generadas. En 3.5 pueden verse las tareas que tuvimos en consideración, a la vez que su duración.

Como primer paso siempre recomendado en el análisis de series de tiempo [Cha13], graficamos los time plots conjunto de cada par de series, a la vez que sus autocorrelogramas (ver 7.1). En 3.6 podemos observar un ejemplo de ésto.

Task	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06	S-07	S-08	S-09	S-10	S-11	S-12
01	—	—	149.888	—	—	—	—	—	54.514	106.096	—	56.135
02	—	—	—	—	—	—	—	—	41.711	63.837	—	—
03	—	51.762	—	80.737	77.977	69.260	68.489	49.607	—	122.272	81.037	—
04	—	187.201	93.333	76.131	79.946	99.240	84.342	—	58.020	129.621	67.977	95.292
05	—	—	—	86.336	—	126.759	145.849	90.742	45.773	134.206	—	—
06	—	—	—	—	—	148.218	50.672	60.281	46.165	66.762	46.773	40.200
07	—	66.024	—	117.762	—	72.410	—	87.702	85.900	110.675	65.758	—
08	—	458.885	98.681	203.867	—	188.708	59.933	48.144	—	157.442	—	81.165
09	—	—	—	75.551	134.247	83.045	108.786	—	62.128	404.014	41.097	92.555
10	50.131	231.392	162.895	242.588	—	122.408	71.198	74.775	—	356.079	69.834	92.769
11	—	74.400	—	98.634	70.189	—	58.911	—	72.947	104.036	59.495	101.970
12	61.331	90.100	129.129	182.917	—	130.375	75.891	57.656	—	101.661	—	64.842
13	55.146	124.095	108.196	144.193	114.720	—	—	83.828	94.087	174.009	84.824	91.525
14	—	75.334	—	—	107.356	—	52.583	144.378	75.589	108.456	91.648	98.487

Fig. 3.5: Tabla de tareas seleccionadas y sus duraciones

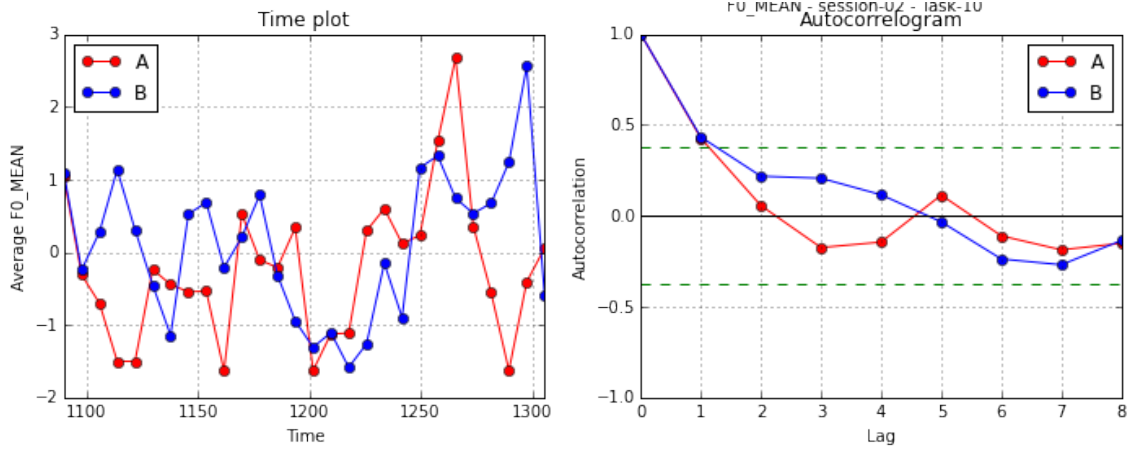


Fig. 3.6: Time-plot producido por TAMA, junto a su autocorrelación

A priori, viendo las series, tienen aspecto de series autoregresivas de orden uno. Es decir, series que son de la forma  $X_t = \alpha X_{t-1} + e_t + c$ , con  $e_t$  ruido blanco,  $\alpha$  y  $c$  constantes. Ésto es esperable por la construcción misma del método TAMA, ya que la ventana de cada punto tiene un solapamiento con la ventana anterior. Más aún, uno esperaría que  $\alpha$  0,5 ya que nuestras ventanas tienen ese índice de overlap. Los autocorrelogramas de las series, por otro lado, tienen en su mayoría un valor significativo en  $k = 1$ , el valor del  $\alpha$  de la autoregresión.

El hecho de que los autocorrelogramas descendan rápidamente a cero es un indicio de que las series de tiempo construídas son estacionarias, lo que nos habilita a efectuar el análisis bivariado de éstas.

### 3.4. Panel de datos

Para condensar todos nuestros datos, armamos una tabla por cada variable a/p. Esta tabla contiene información definida para cada interlocutor, tarea y sesión de nuestro corpus.

1. session: número de sesión

2. speaker: 0 si corresponde al interlocutor A; B en otro caso
3. task: número de tarea
4. count: La cantidad de puntos definidos que tiene la serie
5. entrainment: Si  $speaker = 0$ , es  $A \rightarrow B$ ;  $B \rightarrow A$  en otro caso
6. best\_lag: el lag del cross-correlogram donde se logra el *entrainment*
7. tama\_mean: el promedio de la variable

Además, agregamos las variables sociales (relativas al interlocutor) para cada fila:

1. contributes\_to\_successful\_completion
2. making\_self\_clear
3. engaged\_in\_game
4. planning\_what\_to\_say
5. gives\_encouragement
6. difficult\_for\_partner\_to\_speak
7. bored\_with\_game
8. dislikes\_partner

El corpus original cuenta con más variables pero éstas son las únicas que tomaremos en cuenta (citar algo acá!)

En el corpus original, cada variable estaba replicada por cada interlocutor, y por sí o por no, de manera que teníamos:

1. *conversation\_awkward\_A\_yes*
2. *conversation\_awkward\_A\_no*
3. *conversation\_awkward\_B\_yes*
4. *conversation\_awkward\_B\_no*

Ésto nos da una tabla de 210 filas, y 21 columnas. Para cada sesión y speaker, podemos pensar que tenemos una serie de tiempo donde el tiempo es cada tarea, y los datos son el entrainment y las variables sociales. En la jerga econométrica, llamamos a este tipo de datos *de panel*[GP99]: un conjunto de mediciones temporales sobre un mismo sujeto a lo largo del tiempo. En este caso el sujeto es un interlocutor en una sesión, el tiempo son las tareas, y las mediciones son los entrainments



session	speaker	task	entrainment	bored	engaged	encourages	clear
1	0	10	0.581475	0	5	5	5
1	0	12	-0.569677	1	5	5	5
1	0	13	0.533701	2	4	5	4
1	1	10	-0.917101	0	5	2	3
1	1	12	0.467112	0	5	4	2
1	1	13	-0.602364	0	5	4	3
2	0	3	0.520696	0	4	5	5
2	0	4	-0.241060	0	5	4	4
2	0	7	0.743719	0	5	4	5
2	0	8	0.147362	0	5	4	2

Fig. 3.7: Panel de datos

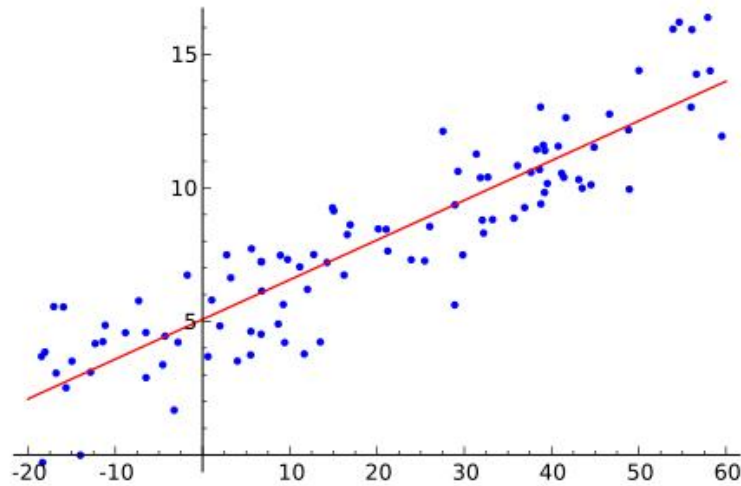


Fig. 3.8: Ejemplo de Regresión Lineal

### 3.5. Análisis de regresión

Llegado a este punto, dada una variable a/p, nos interesaría evaluar la relación entre el entrainment y las distintas variables sociales. Con esto en mente, planteamos un modelo de regresión lineal donde nuestra variable *explicativa* será la mimetización o entrainment, y la variable *dependiente* será la variable social.

En base a ésto, podremos observar cuál es la variación conjunta de ellas. Es esperable que, al aumentar la mimetización (por ejemplo, en la intensidad o en el pitch), aumenten ciertas variables sociales (por ejemplo, la compenetración en el juego) y que otras descendan (el aburrimiento).

#### 3.5.1. Modelo clásico de Regresión Lineal

En el modelo clásico de regresión lineal, tenemos un conjunto de valores fijos  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , que son llamadas variables independientes. Asociado a cada uno de estos valores fijos, tenemos variables aleatorias  $Y_1, \dots, Y_n$ . Asumimos, además, que nuestras variables son de

la forma

$$Y_i = E[Y|X_i] + u_i \quad (3.1)$$

donde  $u_i$  es la perturbación estocástica de la variable.

Asumiendo que  $E[Y|X_i]$  es una función lineal de  $X_i$ ; es decir, que existen  $\beta_1, \beta_2 \in \mathbb{R}$  que cumplen

$$E[Y|X_i] = \beta_1 + \beta_2 X_i \quad (3.2)$$

obtenemos que

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + u_i \quad (3.3)$$

Nuestro objetivo es poder entonces conseguir estimadores  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$  que nos permitan analizar y predecir el comportamiento conjunto de estas variables.

### 3.5.2. Nuestro modelo

Sea entonces una variable acústica/prosódica (por ejemplo, el pitch o la intensidad), y una variable social de las que acabamos de enumerar en 3.4. Sean  $E_1, \dots, E_n$  los valores de entrainment para el set de datos que definimos en 3.4, y sean  $V_1, V_2, \dots, V_n$  los valores de la variable social de cada conversación.

Sobre éstas variables es que planteamos nuestro modelo de regresión lineal clásica: queremos ver qué relación hay tomando como variable “fija” al entrainment, y como variable dependiente a la variable social. Queremos hallar, entonces  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2 \in \mathbb{R}$

$$V_i \simeq \hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 E_i \quad (3.4)$$

Para ello, calcularemos los estimadores  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2 \in \mathbb{R}$  mediante el método *QR* (insertar referencia aquí) que nos provee el lenguaje R. A su vez, luego de ésto efectuaremos un análisis de significancia sobre  $\beta_2$  para verificar que sean distintos de 0.

Uno esperaría que un alto *entrainment* se relacione con un alto valor de ciertas variables sociales [Bre96], por ejemplo la compenetración con el juego, el ayudar a terminarlo. Esto significa esperar que el valor de  $\hat{\beta}_2$ ; y se relacione con bajos valores de otras, como el aburrimiento, o el rechazo percibido hacia el compañero.

#### 4. REGRESIÓN LINEAL AGRUPADA

En esta sección, mostraremos el primer experimento que hicimos. Éste consistió en aplicar un modelo de regresión lineal de cada variable social sobre el *entrainment*.

Una variación que usaremos en éste experimento (y en el posterior) es utilizar como variable dependiente el valor absoluto del *entrainment*, en base a estudios que sugieren que los interlocutores pueden también diferenciarse como un rasgo positivo en la conversación.

#### 4.1. Modelo agrupado o *pooled*

En el modelo agrupado o *pooled*, no distinguimos entre datos provenientes de distintos “grupos” [GP99] y sobre éstos calculamos la regresión lineal, agrupando todos los datos disponibles.

Un problema que surge con este tipo de regresión es que niega todo tipo de *heterogeneidad* de los datos: estos pueden provenir de interlocutores más o menos empáticos, o cuya interacción en el juego se vio influenciada por factores no medidos en el experimento. Todo esto es descartado, aún cuando puede afectar seriamente el resultado obtenido.

12. Gráfico de ejemplo de *pooled ols*

#### 4.2. Resultados sobre *entrainment*

Este modelo dio resultados con baja significancia. En 4.1 puede verse el gráfico de *F0\_MEAN* y 4 variables sociales y en 4.2 pueden verse los valores de las estimaciones de  $\hat{\beta}_2$  junto a sus p-valores.

13. Mover esto a antecedentes

#### 4.3. Absolute *entrainment*, o *disentrainment*

En nuestra definición de *entrainment* en el contexto de series de tiempo, la definimos como el valor de la correlación cruzada (en un sentido de los lags) con mayor valor absoluto. Ésto puede dar, como resultado, valores positivos entre 0 y 1 a los cuales consideramos como *entrainment*; o bien valores negativos entre -1 y 0, éstos considerados como *anti-entrainment*: la divergencia de las features a/p medidas a través del tiempo.

Este fenómeno de *anti-entrainment* o *antimimicry* [CB99] refiere al proceso por el cual uno de los interlocutores no imita al otro sino más bien todo lo contrario, acentúa alguna diferencia. Si bien estudios de larga data como [BGT73] o [DJ69] lo emparentan con una connotación negativa, [HPH14] y [LBGH15] sugieren que puede entenderse este fenómeno como una conducta de adaptación cooperativa. No sólo eso, sino que este fenómeno de mimetización complementaria es más prevalente que la mimetización a secas [LBGH15].

En base a lo recién mencionado es que decidimos probar alguna medida que capture positivamente este fenómeno de igual manera que con el *entrainment* definido. Es decir, esperamos que cuando tengamos o bien *entrainment* o *entrainment* complementario (valores significativos de éste) ocurra que tenemos valores altos de variables sociales de carácter positivo. Mutatis mutandis con las variables sociales de connotación negativa.

Con este fin, en vez de utilizar sólo el valor de *entrainment* como variable explicativa, efectuaremos el mismo análisis pero utilizando el valor absoluto del *entrainment* como tal. Ésto permite captar y valorar el *entrainment* complementario de la misma manera que el “positivo” y valorar su relación con las variables sociales medidas.

#### 4.4. Resultados sobre *absolute entrainment*

14. Escribir acá, y poner tablas sobre *absolute entrainment* en pooled

#### 4.5. Discusión

15. Vale la pena escribir discusión en pooled?

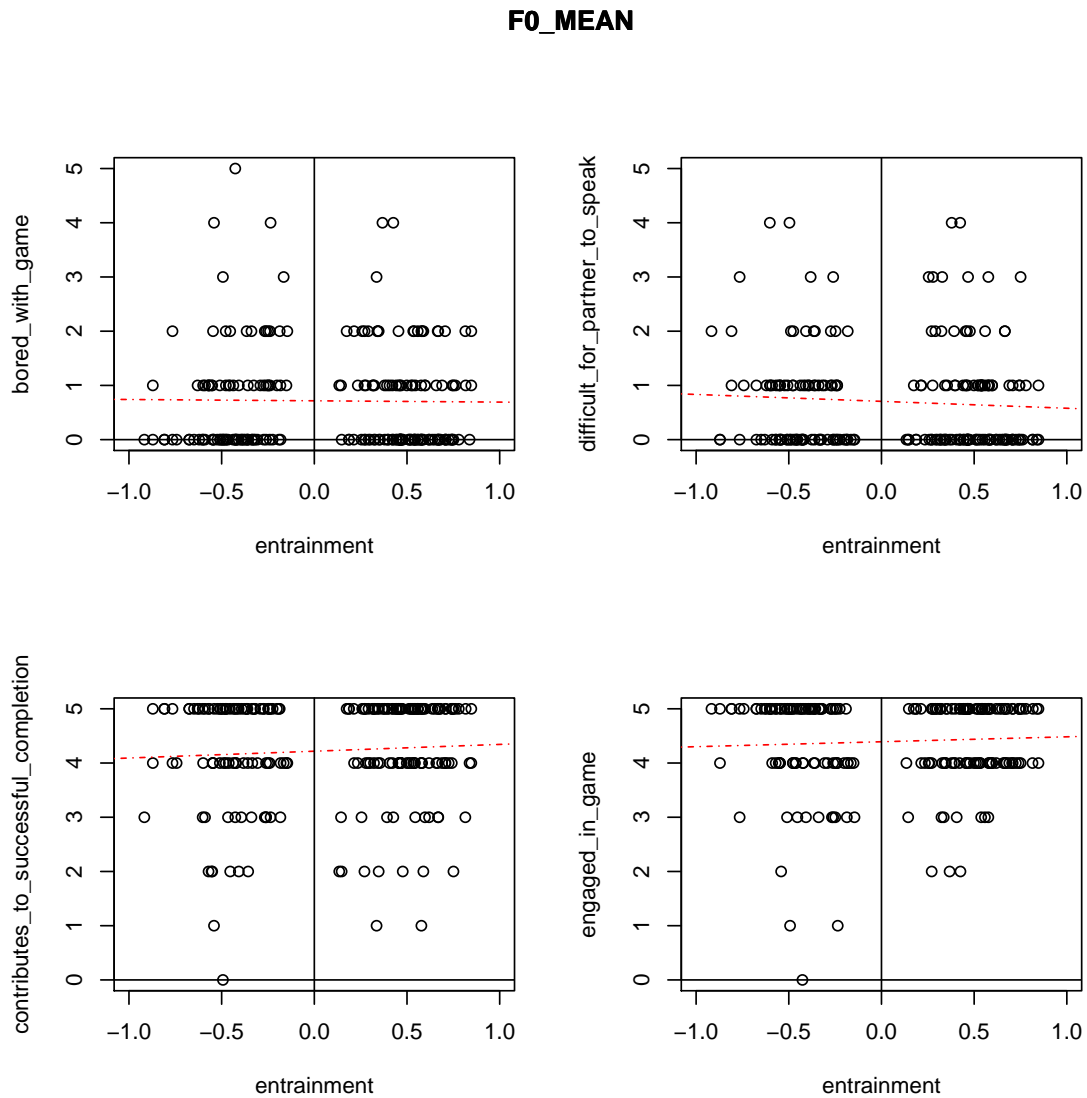


Fig. 4.1: Gráfico de los pares entrainment-variable a/p, junto a la regresión lineal obtenida para *F0\_MEAN*

ENG_MAX	$\widehat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	0.0158	0.1327	1.190944E-01	0.9053
difficult_for_partner_to_speak	-0.0053	0.1305	-4.039178E-02	0.9678
contributes_to_successful_completion	-0.0590	0.1401	-4.213426E-01	0.6739
engaged_in_game	0.0618	0.1179	5.240753E-01	0.6008
gives_encouragement	-0.0677	0.1487	-4.552488E-01	0.6494
making_self_clear	0.1466	0.1477	9.927795E-01	0.3220
planning_what_to_say	0.0613	0.1691	3.621580E-01	0.7176
dislikes_partner	-0.1107	0.1129	-9.805928E-01	0.3279
ENG_MEAN	$\widehat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.0587	0.1326	-4.422931E-01	0.6587
difficult_for_partner_to_speak	-0.0705	0.1304	-5.406454E-01	0.5893
contributes_to_successful_completion	-0.1605	0.1397	-1.149053E+00	0.2519
engaged_in_game	0.0645	0.1179	5.468294E-01	0.5851
gives_encouragement	-0.0064	0.1488	-4.286230E-02	0.9659
making_self_clear	-0.1455	0.1476	-9.858917E-01	0.3253
planning_what_to_say	-0.3036	0.1678	-1.809437E+00	0.0718
dislikes_partner	-0.1061	0.1129	-9.401414E-01	0.3482
F0_MEAN	$\widehat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.0240	0.1334	-1.801989E-01	0.8572
difficult_for_partner_to_speak	-0.1274	0.1309	-9.732137E-01	0.3316
contributes_to_successful_completion	0.1256	0.1406	8.935204E-01	0.3726
engaged_in_game	0.0911	0.1184	7.694083E-01	0.4425
gives_encouragement	0.1624	0.1492	1.089025E+00	0.2774
making_self_clear	-0.0480	0.1487	-3.228835E-01	0.7471
planning_what_to_say	0.0661	0.1700	3.889381E-01	0.6977
dislikes_partner	-0.1963	0.1129	-1.739084E+00	0.0835
F0_MAX	$\widehat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	0.3202	0.1302	2.459808E+00	0.0147
difficult_for_partner_to_speak	0.0677	0.1298	5.218418E-01	0.6023
contributes_to_successful_completion	-0.1359	0.1391	-9.770488E-01	0.3297
engaged_in_game	-0.0666	0.1173	-5.673982E-01	0.5711
gives_encouragement	-0.1538	0.1477	-1.041946E+00	0.2986
making_self_clear	-0.3377	0.1454	-2.322852E+00	0.0212
planning_what_to_say	-0.1762	0.1679	-1.049793E+00	0.2950
dislikes_partner	0.1087	0.1123	9.682776E-01	0.3340

Fig. 4.2: Tablas con los resultados de la regresión clásica para ENG\_MEAN, ENG\_MAX, F0\_MEAN y F0\_MAX. En la segunda columna se cita el valor de  $\widehat{\beta}_2$ , la desviación estándar calculada, el t-valor obtenido y la significancia

NOISE_TO_HARMONICS_RATIO	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.0575	0.1302	-4.417750E-01	0.6591
difficult_for_partner_to_speak	0.0210	0.1281	1.642415E-01	0.8697
contributes_to_successful_completion	-0.1028	0.1374	-7.487108E-01	0.4549
engaged_in_game	-0.0186	0.1158	-1.608817E-01	0.8723
gives_encouragement	-0.1158	0.1458	-7.942329E-01	0.4280
making_self_clear	-0.0161	0.1453	-1.106847E-01	0.9120
planning_what_to_say	-0.0028	0.1660	-1.687902E-02	0.9865
dislikes_partner	-0.1533	0.1105	-1.387064E+00	0.1669
PHONEMES_AVERAGE	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.1237	0.1358	-9.109298E-01	0.3634
difficult_for_partner_to_speak	-0.0188	0.1338	-1.404315E-01	0.8885
contributes_to_successful_completion	-0.0640	0.1437	-4.452462E-01	0.6566
engaged_in_game	0.1098	0.1208	9.094108E-01	0.3642
gives_encouragement	-0.0258	0.1526	-1.690995E-01	0.8659
making_self_clear	-0.0137	0.1518	-9.010196E-02	0.9283
planning_what_to_say	0.1056	0.1733	6.089610E-01	0.5432
dislikes_partner	-0.0409	0.1160	-3.525988E-01	0.7247
PHONEMES_COUNT	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.1732	0.1388	-1.247627E+00	0.2136
difficult_for_partner_to_speak	-0.0978	0.1368	-7.151205E-01	0.4753
contributes_to_successful_completion	-0.1309	0.1468	-8.913525E-01	0.3738
engaged_in_game	0.1439	0.1234	1.165972E+00	0.2450
gives_encouragement	0.0320	0.1562	2.051276E-01	0.8377
making_self_clear	0.0730	0.1553	4.703684E-01	0.6386
planning_what_to_say	0.1147	0.1774	6.469016E-01	0.5184
dislikes_partner	-0.0665	0.1187	-5.603928E-01	0.5758
SOUND_VOICED_LOCAL_SHIMMER	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	0.0566	0.1324	4.272895E-01	0.6696
difficult_for_partner_to_speak	0.0189	0.1303	1.449885E-01	0.8849
contributes_to_successful_completion	0.0013	0.1399	9.102363E-03	0.9927
engaged_in_game	-0.0017	0.1178	-1.408581E-02	0.9888
gives_encouragement	-0.1514	0.1482	-1.021649E+00	0.3081
making_self_clear	0.1541	0.1474	1.045576E+00	0.2970
planning_what_to_say	0.0753	0.1688	4.459035E-01	0.6561
dislikes_partner	0.0061	0.1129	5.368616E-02	0.9572

SYLLABES_COUNT	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	0.0186	0.1355	1.371504E-01	0.8910
difficult_for_partner_to_speak	0.0890	0.1331	6.683149E-01	0.5047
contributes_to_successful_completion	-0.2002	0.1424	-1.405351E+00	0.1614
engaged_in_game	0.0114	0.1205	9.424916E-02	0.9250
gives_encouragement	-0.0264	0.1519	-1.737136E-01	0.8623
making_self_clear	-0.1884	0.1506	-1.251516E+00	0.2122
planning_what_to_say	-0.0688	0.1727	-3.983660E-01	0.6908
dislikes_partner	0.0387	0.1155	3.348662E-01	0.7381
SYLLABES_COUNT	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.0320	0.1409	-2.272888E-01	0.8204
difficult_for_partner_to_speak	-0.0693	0.1385	-5.001544E-01	0.6175
contributes_to_successful_completion	-0.1314	0.1485	-8.847251E-01	0.3773
engaged_in_game	0.0468	0.1252	3.739140E-01	0.7088
gives_encouragement	0.0813	0.1578	5.153149E-01	0.6069
making_self_clear	0.1252	0.1569	7.981887E-01	0.4257
planning_what_to_say	0.0095	0.1796	5.275017E-02	0.9580
dislikes_partner	-0.0329	0.1201	-2.743527E-01	0.7841
VCD2TOT_FRAMES	$\hat{\beta}_2$	Std. Error	t value	Pr(> t )
bored_with_game	-0.0224	0.1355	-1.654508E-01	0.8687
difficult_for_partner_to_speak	0.0967	0.1331	7.264700E-01	0.4684
contributes_to_successful_completion	0.0745	0.1430	5.214177E-01	0.6026
engaged_in_game	-0.0432	0.1204	-3.589417E-01	0.7200
gives_encouragement	-0.0955	0.1517	-6.290892E-01	0.5300
making_self_clear	-0.0932	0.1509	-6.175861E-01	0.5375
planning_what_to_say	0.2505	0.1718	1.458374E+00	0.1462
dislikes_partner	-0.0570	0.1154	-4.943188E-01	0.6216



## 5. REGRESIÓN LINEAL CON EFECTOS FIJOS

## 5.1. Modelo de Efectos Fijos

### 16. Agregar gráfico de ejemplo de efectos fijos

El modelo de efectos fijos agrega el concepto de heterogeneidad permitiendo que cada sujeto tenga su propio valor de ordenada al origen. En el caso concreto de nuestro corpus, dicha heterogeneidad puede deberse a multiplicidad de factores no medidos en él. Por ejemplo, la personalidad de los sujetos es un factor no medido y que puede influir en la dinámica de la interacción entre éstos.

Como el entrainment que medimos mediante el proceso TAMA es un proceso direccional (es decir, medimos tanto la influencia de un interlocutor sobre el otro y viceversa), definimos los “grupos” como las observaciones de entrainment y sus variables sociales de una sesión y el interlocutor sobre el cual consideramos la direccionalidad, tal y cual lo definimos en una sección anterior. Ésto nos arroja la cantidad de 24 grupos de observaciones

## 5.2. Definición Formal de Efectos Fijos

NOTA: Escribir ésto

## 5.3. Resultados

Utilizando como variable explicativa el *entrainment*, los resultados no son significativos. En (NOTA: agregar referencia a las tablas) podemos observar la tabla de coeficientes de esta regresión de efectos fijos.

Por otro lado, este modelo utilizando como variable independiente al valor absoluto del *entrainment* dio valores sustancialmente apreciables. Las variables a/p ENG\_MAX, F0\_MEAN y NOISE\_TO\_HARMONICS\_RATIO poseen valores altamente significativos (p-valor menor a 0.05) para al menos 2 variables sociales. En la tabla 5.1 podemos ver la tabla del test de coeficientes con las variables sociales significativas resaltadas. Una versión simplificada tabla la podemos ver en 5.2 que grafica mediante tabla de doble entrada aquellos pares de variables a/p y variables sociales con coeficientes significativos y su signo.

Con respecto a las variables sociales, podemos observar que:

- *contributes-to-completion* se relaciona positivamente con el *absolute entrainment* cuando la variable a/p medida es F0\_MEAN o bien NOISE\_TO\_HARMONICS\_RATIO. Esto significa que, cuando sube el valor absoluto del *entrainment*, esta variable positiva también lo hace con buena probabilidad. Esto es un efecto esperable: cuando hay mimetización, hay colaboración para el éxito en el juego.
- *making-self-clear*, otra variable que refleja una visión positiva del juego, también se relaciona positivamente con el *absolute entrainment* para las variables F0\_MEAN, NOISE\_TO\_HARMONICS\_RATIO, ENG\_MAX como a su vez para PHONEMES\_AVERAGE y para SYLLABES\_COUNT
- *engaged-with-game*, de la misma manera que las dos anteriores, relaciona positivamente pero sólo con F0\_MEAN
- *planning-what-to-say gives-encouragement*, otras variables positivas, no presentan valores significativos.

ENG_MAX	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
contributes_to_successful_completion	0.0497	0.4262	0.1165	0.9074
making_self_clear	1.6581	0.3864	4.2909	0.0001
engaged_in_game	0.3307	0.2576	1.2840	0.2008
planning_what_to_say	0.5005	0.5327	0.9395	0.3487
gives_encouragement	0.4264	0.3792	1.1246	0.2622
difficult_for_partner_to_speak	-0.7200	0.2858	-2.5190	0.0126
bored_with_game	0.2163	0.2560	0.8450	0.3992
dislikes_partner	-0.4318	0.3443	-1.2541	0.2114
F0_MEAN	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
contributes_to_successful_completion	1.0274	0.3025	3.3962	0.0008
making_self_clear	0.8307	0.3934	2.1115	0.0361
engaged_in_game	0.8850	0.2750	3.2182	0.0015
planning_what_to_say	0.7167	0.5400	1.3273	0.1860
gives_encouragement	0.0075	0.3941	0.0190	0.9848
difficult_for_partner_to_speak	-0.5975	0.3928	-1.5209	0.1300
bored_with_game	-0.7586	0.2481	-3.0572	0.0026
dislikes_partner	0.0371	0.3800	0.0977	0.9223
NOISE_TO_HARMONICS_RATIO	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
contributes_to_successful_completion	0.7041	0.3404	2.0686	0.0400
making_self_clear	1.3344	0.3537	3.7725	0.0002
engaged_in_game	0.0954	0.3462	0.2756	0.7832
planning_what_to_say	-0.1874	0.4177	-0.4485	0.6543
gives_encouragement	0.7234	0.4782	1.5127	0.1321
difficult_for_partner_to_speak	-0.1941	0.3436	-0.5648	0.5729
bored_with_game	0.5876	0.3028	1.9404	0.0539
dislikes_partner	0.3582	0.3330	1.0755	0.2835

Fig. 5.1: Tablas con los resultados de la regresión de efectos fijos para ENG\_MAX, F0\_MEAN y NOISE\_TO\_HARMONICS\_RATIO. En la segunda columna se cita el valor de  $\widehat{\beta}_2$ , la desviación estándar calculada, el t-valor obtenido y la significancia. Las columnas resaltadas corresponden a aquellas significantes

- *difficult-for-partner-to-speak*, una variable que representa una característica negativa de la conversación, se relaciona de igual con el *absolute entrainment* cuando la variable acústico prosódica es ENG\_MAX. Ésto contiene sentido, ya que a mayor mimetización de los interlocutores, la dificultad de éstos para hablar debería disminuir.
- La variable *bored-with-gamese* comporta de idéntica manera, sólo que con F0\_MEAN.
- *dislikes-partner*no presenta valores significativos

	ENG_MAX	ENG_MEAN	F0_MEAN	F0_MAX	NOISERATIO
contributes			+		+
clear	+		+		+
engaged			+		
planning					
encourages					
difficult	—				
bored			—		
dislikes					
	PHON_AVG	PHON_COUNT	SHIMMER	SYL_AVG	SYL_COUNT
contributes					
clear	+				+
engaged					
planning					
encourages					
difficult					
bored					
dislikes					

Fig. 5.2: Tabla que representa los resultados significantes del experimento. En una de las entradas, tenemos los nombres abreviados de las variables sociales, y en la otra las variables a/p. El símbolo + representa valor significativo y positivo de la pendiente de la regresión de efectos fijos, mientras que — representa significativo y negativo

## 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

17. Escribir conclusiones!



## 7. APÉNDICE

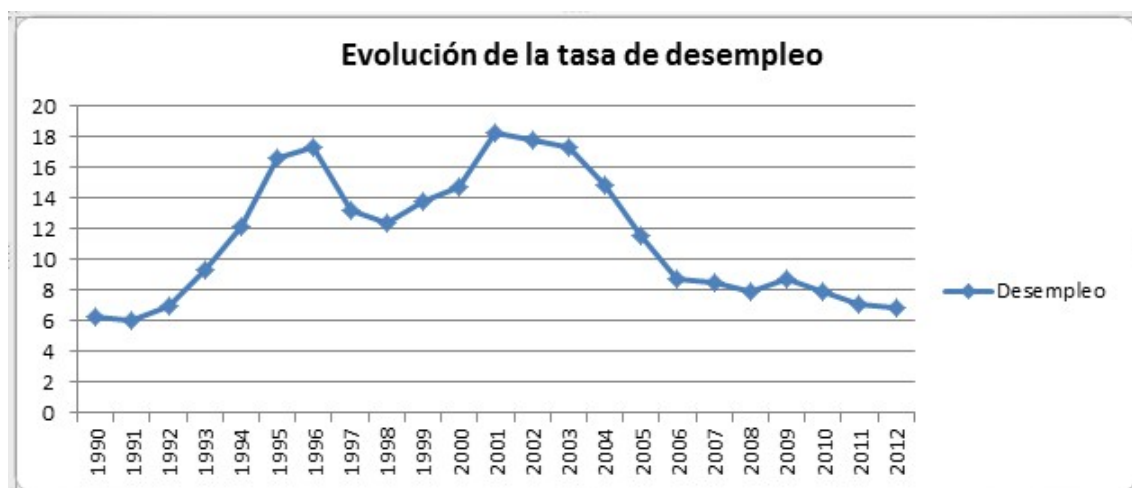


Fig. 7.1: Gráfico de serie de tiempo de la evolución del desempleo en Argentina

## 7.1. Series de Tiempo

18.Mandar ésto a un apéndice!

### Definición Informal

En términos informales, una serie de tiempo es un conjunto de datos recolectados secuencialmente en el tiempo. Este tipo de datos se dan en varios campos de estudio, como por ejemplo Economía, Ciencias de la Atmósfera, y otros.

Ejemplos de series de tiempo:

- Volumen de lluvias en sucesivos días de un año
- Precio de acciones en diferentes meses
- Cantidad de habitantes de una ciudad año a año

### ¿Para qué queremos series de tiempo?

Hay varios motivos por los cuales uno querría efectuar un análisis de una serie de tiempo.

1) *Descripción* Usualmente, lo primero que se hace al obtener la serie de tiempo es graficarla y obtener las características más notorias de ésta. Por ejemplo, en 7.1 puede notarse que hay una tendencia decreciente del 2003 hasta el 2012. En otras (como en el volumen de lluvias) podrá observarse cierta estacionalidad en la serie.

Si bien ésto no requiere técnicas avanzadas de análisis, es el primer paso fundamental para comprender una serie de tiempo.

2) *Explicación* Cuando analizamos dos o más series de tiempo, podemos querer ver cómo se comportan en conjunto. Una variación en una serie de tiempo puede producir un cambio en otra. Por ejemplo, podemos intentar buscar como varían en conjunto la temperatura diaria con la cantidad de mL de lluvia caídos.



3) *Predicción* Dada una serie de tiempo, podemos querer intentar predecir un valor futuro.

4) *Control* Dado un proceso del que se mide cierto parámetro de calidad, podemos querer ajustar variables de entrada para mantenerla en ciertos valores.

En nuestro caso, nos es de interés 1 y 2.

### 7.1.1. Procesos estocásticos

**Definición 1.** Un proceso estocástico es una colección de variables aleatorias  $\{X_t\}_{t \in T}$  donde  $T$  es un conjunto de puntos de tiempo. En nuestro caso, nos interesa  $T = \mathbb{N}$ , de manera que el proceso será de la forma  $X_1, X_2, \dots$

Podemos entender un proceso estocástico como un conjunto de variables ordenadas por el tiempo. Llamamos serie de tiempo a una observación de este proceso estocástico. Usualmente sólo tendremos esta instancia, a diferencia de otros problemas estadísticos donde tendremos muchas observaciones.

### 7.1.2. Estacionariedad

Un concepto importante en series de tiempo es el de estacionariedad. En lenguaje coloquial, una serie de tiempo estacionaria es aquella en la que no observamos cambios sistemáticos de ésta en el tiempo: si tomamos una parte de la serie, y observamos otra parte distinta de la serie, las propiedades de ésta se mantienen.

Ejemplos de series de tiempo estacionarias son las de ruido blanco, y ejemplos de no estacionarias aquellas que tienen una tendencia. (mejorar esto...)

**Definición 2.** Un proceso estocástico  $X_i, i \in \mathbb{N}$  se dice fuertemente estacionario si, para todo conjunto de índices  $t_1, \dots, t_n$  y para un desplazamiento  $\tau \in \mathbb{N}$  tenemos que

$$F_{X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}} = F_{X_{t_1+\tau}, X_{t_2+\tau}, \dots, X_{t_n+\tau}}$$

Es decir, que la función de probabilidad se preserva por traslados.

Se derivan como propiedades que, para todo  $X_t$  y cualquier desplazamiento  $\tau$

$$E[X_t] = E[X_{t+\tau}] \quad (7.1)$$

$$Var[X_t] = Var[X_{t+\tau}] \quad (7.2)$$

$$Cov(X_s, X_t) = Cov(X_{s+\tau}, X_{t+\tau}) \quad (7.3)$$

Las ecuaciones 7.1 y 7.2 nos dicen que tanto la media como la varianza son constantes (no dependen de  $t$ ), y que la covarianza sólo depende de la diferencia  $|s - t|$ .

**Definición 3.** Un proceso se dice débilmente estacionario si cumple 7.1, 7.2, 7.3

A partir de aquí, cuando hablemos de series estacionarias estaremos hablando de series débilmente estacionarias



## 8. BIBLIOGRAFÍA



## Bibliografía

- [BGT73] Richard Y Bourhis, Howard Giles, and Henri Tajfel. Language as a determinant of welsh identity. *European Journal of Social Psychology*, 3(4):447–460, 1973.
- [Bre96] Susan E Brennan. Lexical entrainment in spontaneous dialog. *Proceedings of ISSD*, 96:41–44, 1996.
- [BSD95] Judee K Burgoon, Lesa A Stern, and Leesa Dillman. Interpersonal adaptation: Dyadic interaction patterns. 1995.
- [CB99] Tanya L Chartrand and John A Bargh. The chameleon effect: the perception–behavior link and social interaction. *Journal of personality and social psychology*, 76(6):893, 1999.
- [Cha13] Chris Chatfield. *The analysis of time series: an introduction*. CRC press, 2013.
- [DJ69] James M Dabbs Jr. Similarity of gestures and interpersonal influence. In *Proceedings of the annual convention of the American Psychological Association*. American Psychological Association, 1969.
- [DLSVC14] Céline De Looze, Stefan Scherer, Brian Vaughan, and Nick Campbell. Investigating automatic measurements of prosodic accommodation and its dynamics in social interaction. *Speech Communication*, 58:11–34, 2014.
- [GBLH15] Agustín Gravano, Štefan Benuš, Rivka Levitan, and Julia Hirschberg. Backward mimicry and forward influence in prosodic contour choice in standard american english. In *Sixteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association*, 2015.
- [GP99] Damodar N Gujarati and Dawn C Porter. Essentials of econometrics. 1999.
- [Gra09] Agustín Gravano. *Turn-taking and affirmative cue words in task-oriented dialogue*. Columbia University, 2009.
- [HPH14] Patrick GT Healey, Matthew Purver, and Christine Howes. Divergence in dialogue. *PloS one*, 9(6):e98598, 2014.
- [KDMC08] Spyros Kousidis, David Dorran, Ciaran McDonnell, and Eugene Coyle. Times series analysis of acoustic feature convergence in human dialogues. In *Proceedings of Interspeech*, 2008.
- [KDW<sup>+</sup>08] Spyros Kousidis, David Dorran, Yi Wang, Brian Vaughan, Charlie Cullen, Dermot Campbell, Ciaran McDonnell, and Eugene Coyle. Towards measuring continuous acoustic feature convergence in unconstrained spoken dialogues. 2008.

- [LBGH15] Rivka Levitan, Štefan Benuš, Agustin Gravano, and Julia Hirschberg. Acoustic-prosodic entrainment in slovak, spanish, english and chinese: A cross-linguistic comparison. In *16th Annual Meeting of the Special Interest Group on Discourse and Dialogue*, page 325, 2015.
- [LH11] Rivka Levitan and Julia Bell Hirschberg. Measuring acoustic-prosodic entrainment with respect to multiple levels and dimensions. 2011.
- [RKM06] David Reitter, Frank Keller, and Johanna D Moore. Computational modelling of structural priming in dialogue. In *Proceedings of the Human Language Technology Conference of the NAACL, Companion Volume: Short Papers*, pages 121–124. Association for Computational Linguistics, 2006.