

# Práctica Teoría de la Información

Marlon Rodríguez y Enrique Ernesto de Alvear

# Índice

|   |          |
|---|----------|
| <b>1. Descripción de los datos</b>                | <b>3</b> |
| <b>2. Metodología:</b>                            | <b>3</b> |
| 2.1. Cálculo de spikes . . . . .                  | 3        |
| 2.2. Codificación SAX: . . . . .                  | 6        |
| <b>3. Resultados</b>                              | <b>8</b> |
| 3.1. Resultados análisis spikes: . . . . .        | 8        |
| 3.1.1. Análisis datos de Control . . . . .        | 8        |
| 3.1.2. Análisis datos de Inyección GABA . . . . . | 11       |
| 3.1.3. Análisis datos de Recuperación . . . . .   | 14       |
| 3.1.4. Resumen resultados . . . . .               | 17       |
| 3.2. Resultados codificación SAX . . . . .        | 19       |
| 3.2.1. Análisis datos de Control . . . . .        | 19       |
| 3.2.2. Análisis datos de Inyección GABA . . . . . | 20       |
| 3.2.3. Análisis datos de Recuperación . . . . .   | 22       |
| 3.2.4. Resumen resultados . . . . .               | 23       |

La práctica consiste en un estudio utilizando técnicas de teoría de la información para analizar datos obtenidos de dos neuronas que pertenecen al órgano estomatogástrico del cangrejo azul. Los datos son tomados en una situación de control, en inyección de GABA y en recuperación. De esta manera se pretende encontrar relaciones entre las señales de las neuronas para entender de mejor forma la comunicación e interacción de las mismas.

## 1. Descripción de los datos

La información se encuentra dividida en tres archivos, los cuales contienen una señal codificada como una serie temporal de datos. Cada uno de los archivos son una medición de las neuronas LP y VD tomadas en el órgano estomatogástrico del cangrejo azul en 3 condiciones distintas. El primer archivo contiene una muestra de los datos de control, sin añadir ningún tipo de estímulo, el segundo archivo consta de datos obtenidos al inyectar GABA en las neuronas para provocar su activación, y finalmente el tercer archivo considera los datos de recuperación de las neuronas posterior a la inyección de GABA. Los archivos contienen aproximadamente 16 millones de observaciones, y además el archivo de GABA cuenta con una serie temporal adicional donde marca las inyecciones de GABA.

## 2. Metodología:

Se ha utilizado dos técnicas que permiten representar y analizar las distintas series temporales correspondientes a cada una de las neuronas.

### 2.1. Cálculo de spikes

A partir de la información disponible se estudió la distribución de cada una de las tres señales con el objetivo de obtener un umbral que permita decidir cuando una señal llega a un spike. Para el cálculo de este umbral se ha obtenido la desviación típica de los datos, definiendo un umbral superior  $U$  usando la siguiente fórmula:

$$U = \bar{x} + a\sigma^2 \tag{1}$$

Donde  $\bar{x}$  denota la media de la serie temporal y  $\sigma^2$  la desviación típica, mientras que el parámetro  $a$  es una constante la cual se ha variado dependiendo del conjunto de datos, donde  $a \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ . Después de realizar varios experimentos se ha determinado utilizar  $a = 4$  para la codificación debido a que este valor permite aislar el ruido y determinar correctamente los eventos que corresponden a un spike.

A continuación se muestra un ejemplo, en la Figura 1, en el que se presenta el histograma de los datos de una de las señales donde se ha marcado el umbral con una línea entrecortada de color verde.

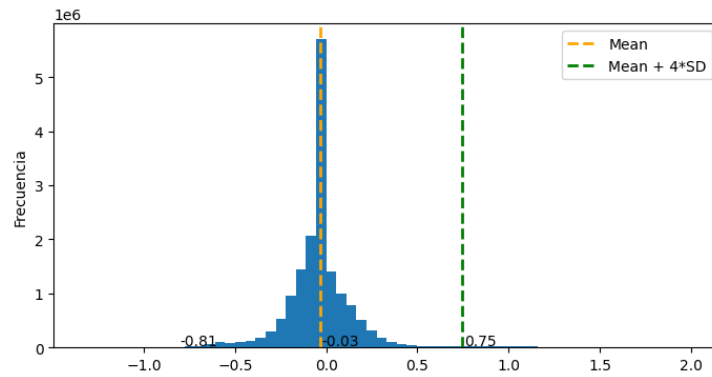


Figura 1: Histograma de los datos

Teniendo en cuenta el umbral escogido, se ha transformando la serie temporal en una serie de 0s y 1s (o binaria). De esta manera, los picos de la señal que superen el umbral son considerados un spike, como se muestra en la Figura 2. De esta forma se identifica los eventos correspondientes al incremento del potencial de acción.

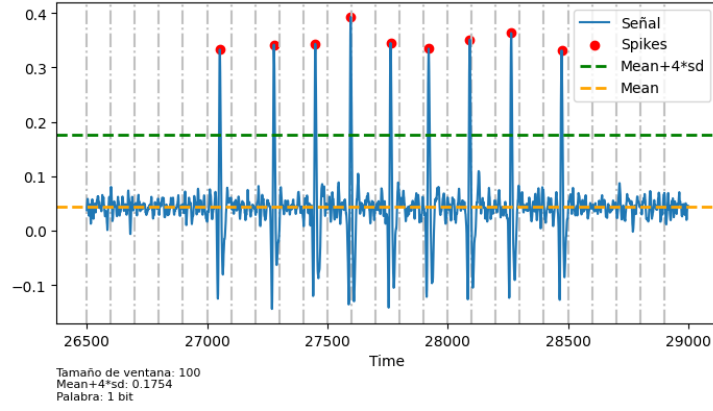


Figura 2: Imagen del análisis de la señal al marcar los spikes

Gracias a esto se evita el ruido provocado por otras neuronas de las que no se desea analizar en el estudio, evitando la contaminación de nuestros datos como se observa en la Figura anterior.

Para el cálculo de palabras se ha utilizado un tamaño distinto de ventana, agrupando la señal, según el tamaño elegido. Esto se ha hecho uniendo las señales obtenidas en el paso anterior, marcando con un 1 los trozos en los que el tamaño de ventana 1 ha marcado un spike, y 0 en otro caso. También, se ha agrupado por palabras de acuerdo al número de bits de la codificación en grupos de  $n$ , obteniendo palabras de tamaño  $n \in \{1, \dots, 8\}$ .

Con la codificación obtenida en palabras y por tamaño de ventana se ha calculado el porcentaje de error obtenido en cada una de las codificaciones, la información mutua normalizada, la entropía del sistema y la transferencia de entropía entre las neuronas LP y VD. La información mutua normalizada se ha calculado dividiendo por tamaño de palabra y de ventana. Además, el porcentaje error se ha calculado contando los casos en los cuales se han detectado más de un evento spike por ventana y dividiendo este resultado para el total de eventos.

A raíz de todos estos cálculos obtenidos por separado para los 3 conjuntos de datos disponibles se han analizado y estudiado para obtener los resultados comentados en la sección 3.

## 2.2. Codificación SAX:

Se realiza el análisis de las señales utilizando la codificación SAX, la cual consiste en definir un tamaño de ventana y asignar una codificación a la media  $\bar{x}$  de la señal para cada una de las ventanas definidas. De la misma forma que en la sección del cálculo los spikes se ha definido umbrales tomando en cuenta un cierto número de desviaciones típicas con respecto a la media. En el caso de SAX se ha considerado un umbral superior  $supU = \bar{x} + a\sigma^2$  e inferior  $infU = \bar{x} - a\sigma^2$  como se muestra en la Figura 3, donde los umbrales se representan con las líneas entrecortadas de color verde.

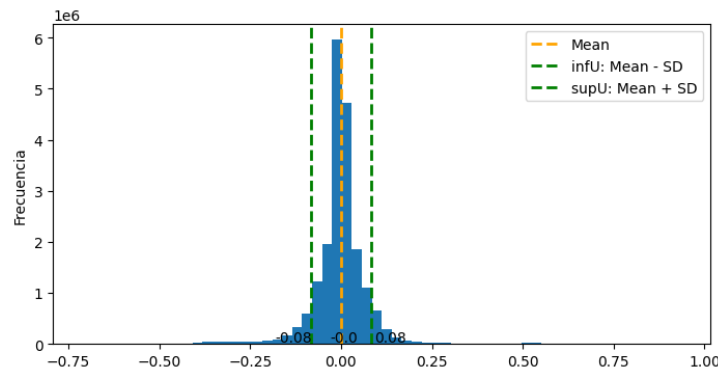


Figura 3: Histograma de los datos y umbrales para la codificación SAX

Para esta codificación SAX se utilizan 3 etiquetas  $a, b, c$  las cuales dependen del promedio obtenido en un tamaño de ventana escogido. A continuación, definimos la función  $MapSAX(x)$  la cual permite asignar las etiquetas mencionadas de acuerdo a los umbrales:

$$MapSAX(\bar{x}) = \begin{cases} a & \text{if } \bar{x} < infU \\ b & \text{if } \bar{x} \geq infU \text{ \& } \bar{x} \leq supU \\ c & \text{if } \bar{x} > supU \end{cases} \quad (2)$$

Es importante notar que en SAX la distancia de los umbrales con respecto a la media es menor a la utilizada para la codificación de spikes en la sección 2.1, esto se debe a que entre más grande es la ventana escogida la media de ese pedazo se aproxima más al promedio de la señal. La Figura 4 muestra un ejemplo de como se aplica la codificación SAX en un trozo de una de las señales. En este caso se utiliza un tamaño de ventana de 10, además, el promedio en cada uno de los segmentos se gráfica con una línea horizontal y se asigna un color de acuerdo a

la etiqueta obtenida según la ecuación 2.

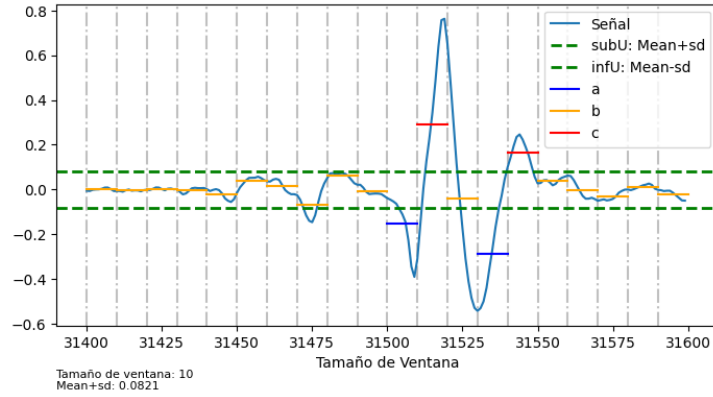


Figura 4: Codificación SAX utilizada

Además, se ha estudiado con esta codificación, la unión de las dos señales de las neuronas VD y LP, para compararlas e intentar obtener alguna relación entre ambas codificaciones, en la Figura 5 se puede observar ambas señales codificadas, para una de ellas se ha utilizado los colores *a*: azul claro, *b*: morado, *c*: naranja; y para la otra *a*: negro, *b*: rojo, *c*: verde.

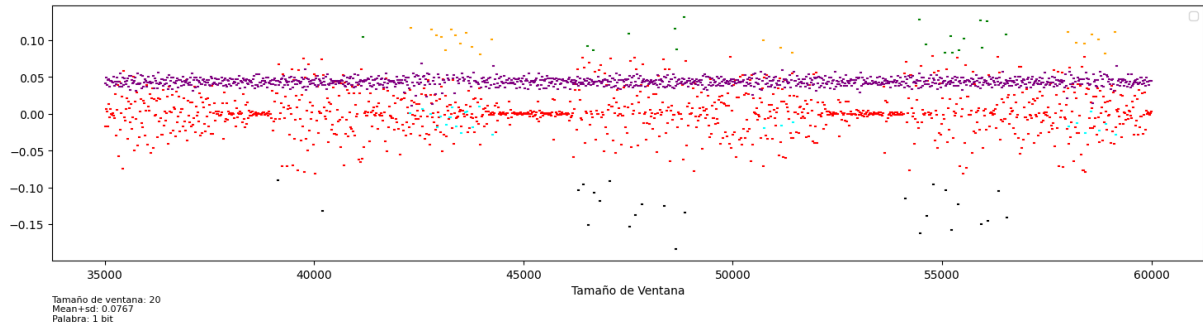


Figura 5: Codificación SAX señales LP y VD

A continuación, se realiza un estudio con el objetivo de determinar si ambas codificaciones identifican un evento spike, para ello se compara los trozos en los que la codificación SAX se ha obtenido una *c* y los 1s obtenidos en la codificación binaria.

Finalmente, se ha hecho un cálculo de la información mutua por tamaño de ventana de la codificación SAX.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultados análisis spikes:

##### 3.1.1. Análisis datos de Control

Primero se presenta gráficamente una sección de la codificación de las neuronas LP y VD para el archivo de Control, como se puede ver en la Figura 6. Donde el umbral es tomado a 4 desviaciones típicas de la media.

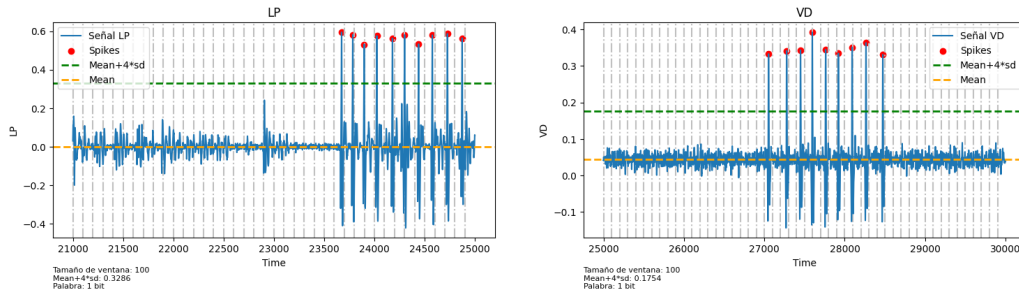


Figura 6: Codificación de Spikes en señales LP y VD en datos de Control

Se procede a calcular la codificación para cada tamaño de palabra y tamaño de ventana, lo cual produce un error representado en la Figura 7. El error representa la aparición de más de un evento por ventana. Idealmente, se desea capturar un único evento por tamaño de ventana. En esta imagen se puede apreciar como el porcentaje de error depende del tamaño de ventana y palabra utilizada. Por ejemplo, con un tamaño de ventana de 100 y palabra 1 (W1) se aprecia que para ambas señales obtenemos un error cercano a 0%. En estas gráficas se puede notar que el error crece con mayor rapidez en la neurona LP en comparación a la neurona VD. En este sentido, a medida que aumentamos el tamaño de la palabra (W) se necesitan tamaños de ventana más pequeños para obtener un porcentaje de error bajo, es decir, existe una correlación positiva entre el error y el tamaño de ventana.



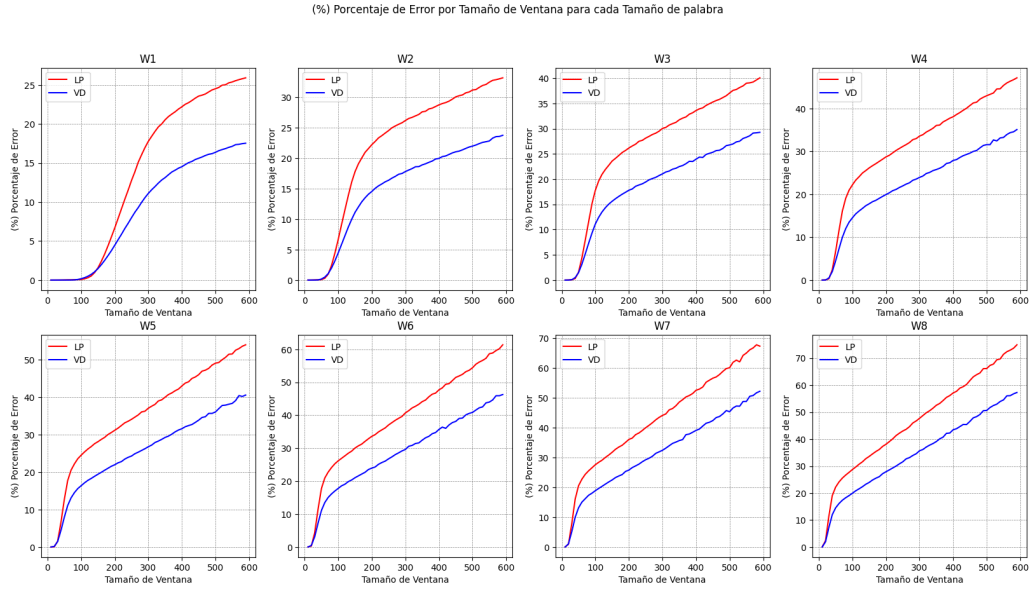


Figura 7: Errores por tamaño de ventana y palabra en las neuronas LP y VD en la etapa de Control

Posteriormente, se calcula la información mutua de la señal codificada, la cual se ha dividido por el número de bits (tamaño de palabra) y tamaño de ventana. Se puede observar en la Figura 8, que para cada tamaño de palabra hay un tamaño de ventana en el cual la información mutua es máxima y se va reduciendo dicho tamaño según el número de bits. También, se puede ver en el Cuadro 1 los tamaños de ventana para los que se maximiza la información mutua para cada tamaño de palabra y ventana, de esta manera se puede identificar que el valor máximo alcanzado es similar para cada tamaño de palabra, mientras que el tamaño de ventana tiende a reducirse.

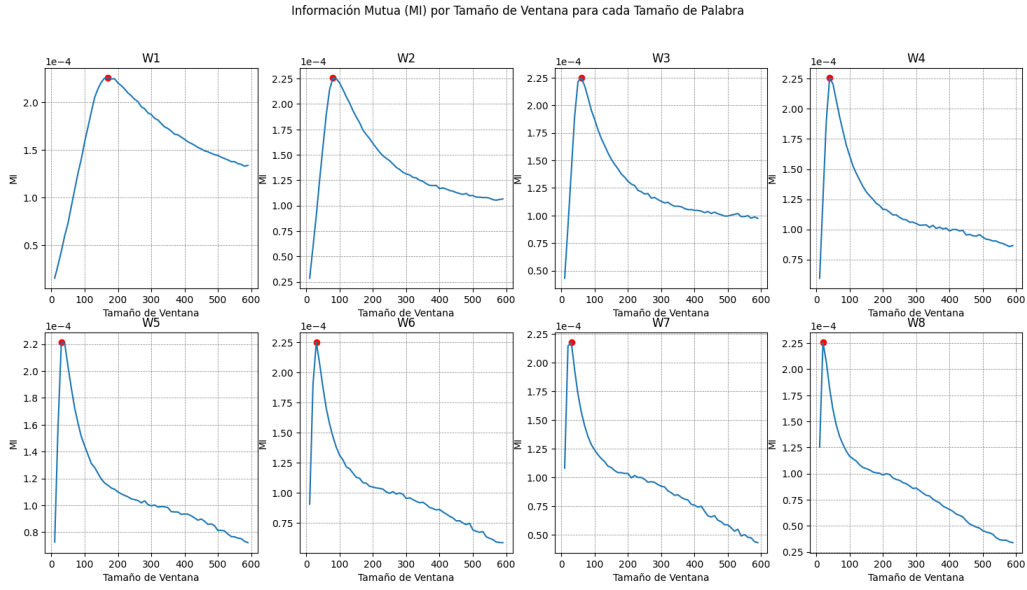


Figura 8: Información mutua por tamaño de ventana para cada número de bits

| Tamaño de Palabra (bit) | Tamaño de Ventana | Máxima MI Normalizada ↓ |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1                       | 170               | 0.000226                |
| 2                       | 80                | 0.000226                |
| 4                       | 40                | 0.000226                |
| 8                       | 20                | 0.000226                |
| 3                       | 60                | 0.000225                |
| 6                       | 30                | 0.000225                |
| 5                       | 30                | 0.000221                |
| 7                       | 30                | 0.000218                |

Cuadro 1: Tamaño de ventana que maximiza la Información Mutua por Tamaño de Palabra

Por otro lado, podemos observar la transferencia de entropía entre las neuronas LP y VD como se muestra en la figura 9. Además, se aprecia que existe una mayor transferencia de entropía en la dirección LP a VD, es decir, la señal LP aporta una mayor cantidad de incertidumbre o información a VD, teniendo una transferencia de entropía asimétrica.

Trasferencia de Entropía LP a VD (y viceversa) por Tamaño de Ventana para cada Tamaño de Palabra

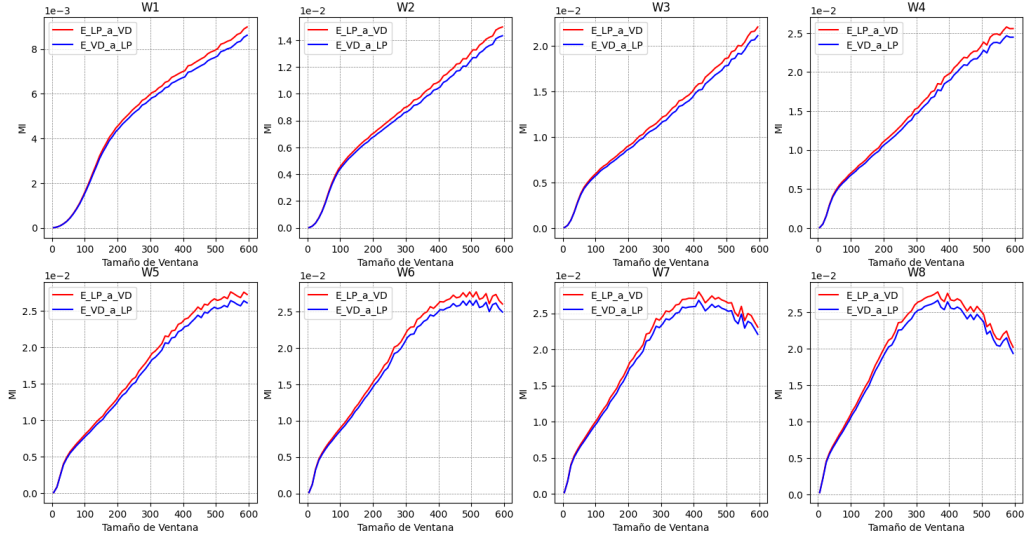


Figura 9: Trasferencia de Entropía entre LP y VD, y viceversa en datos de Control.

### 3.1.2. Análisis datos de Inyección GABA

Para el análisis de esta sección se toma una umbral de 4 desviaciones estándar con respecto a la media, lo cual permite realizar la codificación de los spikes para cada una de las señales como se aprecia en la Figura 10. Donde la línea verde entrecortada representa el umbral escogido.

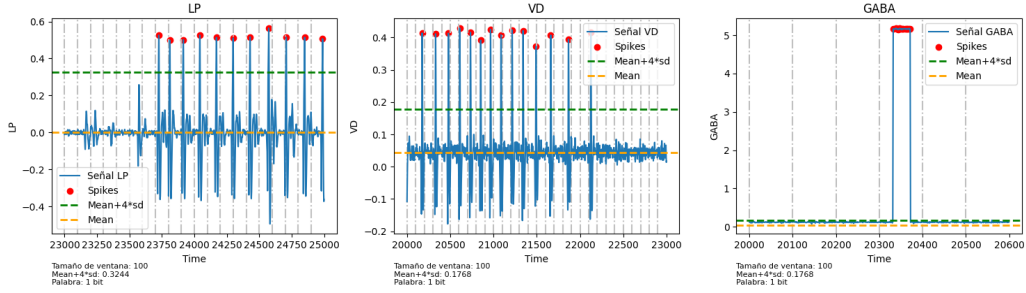


Figura 10: Codificación de Spikes en señales LP,VD y GABA en datos de Inyección GABA.

Con esta codificación se puede medir el error que se produce para cada una de las ventanas y palabras como se muestra a continuación en la Figura 11. De la misma forma se aprecia que el error para la neurona LP aumenta con mayor rapidez que el error para VD. Además, el error en la inyección de GABA toma un comportamiento lineal y es inferior a los errores de las neuronas LP y VD. Este comportamiento se debe a que los spikes de GABA ocurren con una menor

frecuencia y se agrupan en ventanas más pequeñas, por lo que se generan menor cantidad de errores como se aprecia en el gráfico de GABA de la Figura 10.

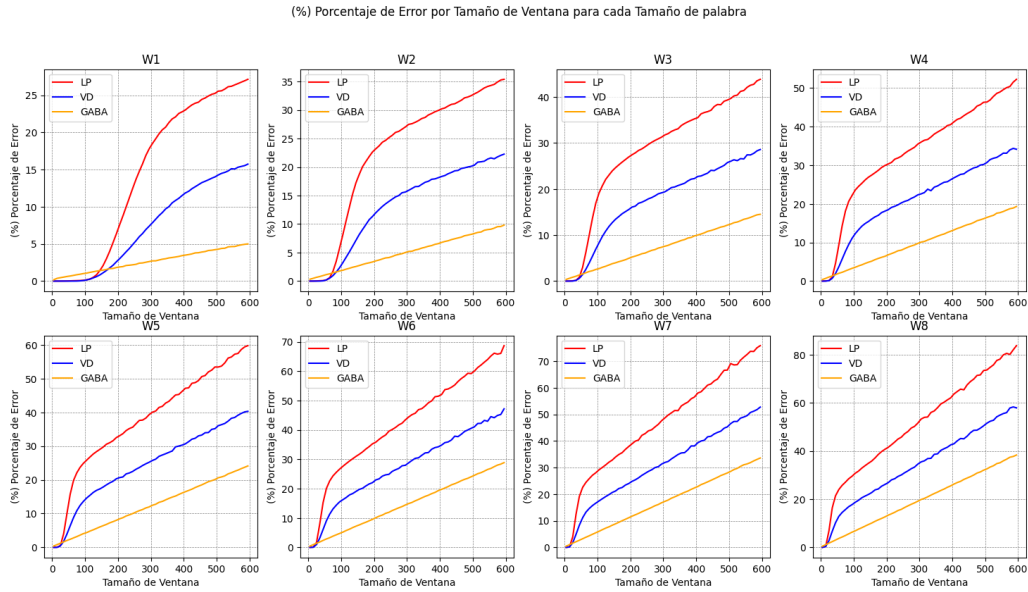


Figura 11: Errores por tamaño de ventana y palabra en las neuronas LP, VD e Inyección GABA en datos de Inyección GABA.

A continuación, realizamos el cálculo de la Información Mutua (MI) normalizada por tamaño de palabra y ventana como se observa en la Figura 12. Se puede notar que la información mutua normalizada máxima se alcanza con mayor rapidez al aumentar en número de bits, es decir, al utilizar 1 bit (W1) se alcanza el máximo con un tamaño de ventana de 185, mientras que con 8 bits (W8) la máxima MI ocurre con una un tamaño de ventana de 25.

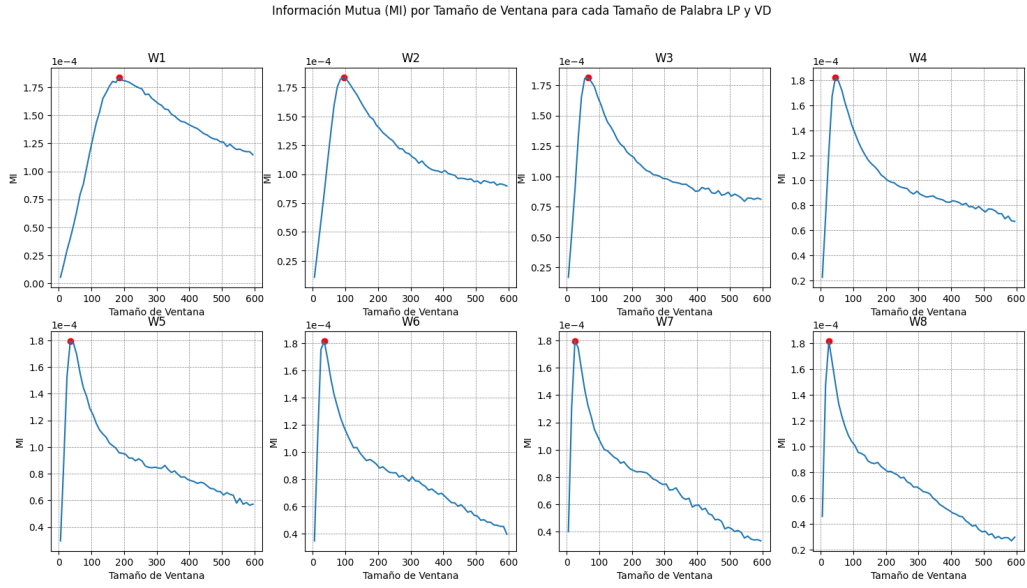


Figura 12: Información Mutua por tamaño de venta para cada número de bits en datos de GABA

En el Cuadro 2 se muestra la máxima información mutua normalizada en orden decreciente para cada tamaño de palabra y ventana. En esta tabla podemos apreciar que la máxima información normalizada se obtuvo con un tamaño de palabra o bit igual a 1 y un tamaño de ventana igual a 185. Además, se puede notar que el valor de la información mutua normalizada máximo es similar para cada tamaño de palabra.

| Tamaño de Palabra (bit) | Tamaño de Ventana | Máxima MI Normalizada ↓ |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1                       | 185               | 0.000184                |
| 2                       | 95                | 0.000184                |
| 4                       | 45                | 0.000182                |
| 8                       | 25                | 0.000182                |
| 6                       | 35                | 0.000181                |
| 3                       | 65                | 0.000181                |
| 5                       | 35                | 0.000179                |
| 7                       | 25                | 0.000179                |

Cuadro 2: Tamaño de ventana que maximiza la Información Mutua por Tamaño de Palabra

Por otro lado, también analizamos la transferencia de entropía que realiza en las neuronas LP y VD, y viceversa como se visualiza en la Figura 13. Se aprecia que para todos los tamaños de palabra y ventana la transferencia de entropía de la neurona LP a la VD es superior que de

la neurona VD a LP. Esto indica que existe un mayor flujo de información o incertidumbre en dirección de LP a VD, es decir, LP es una fuente de información más significativa para VD que viceversa.

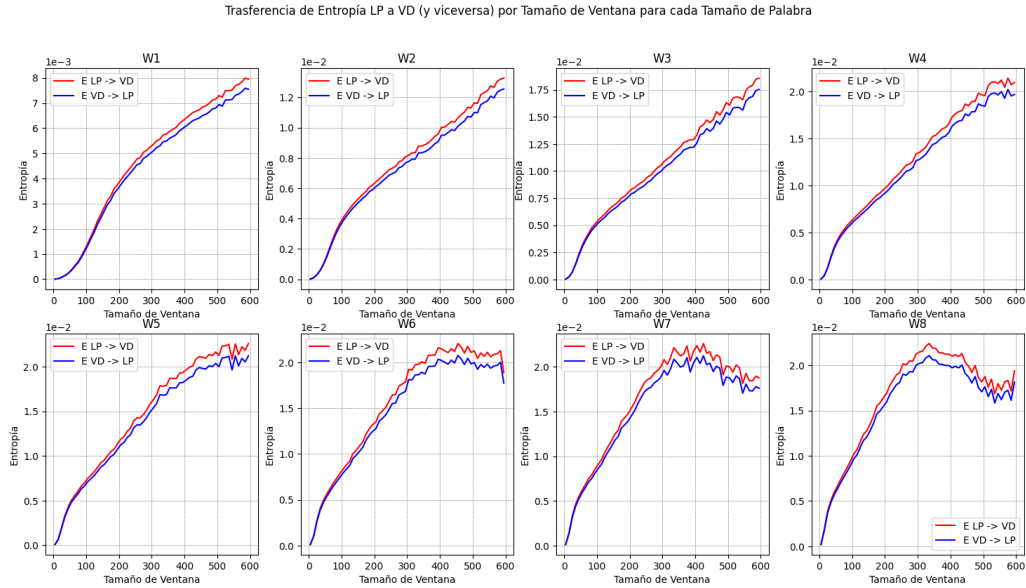


Figura 13: Trasferencia de Entropía entre LP y VD, y viceversa en datos de GABA.

### 3.1.3. Análisis datos de Recuperación

Para esta realizar el análisis de las señales LP y VD en el archivo de recuperación de igual forma se ha tomado un umbral superior a 4 desviaciones estándar de la media de los datos como se muestra en la Figura 14 y se encuentra representado con una línea verde entrecortada. De acuerdo a este umbral se realiza la codificación de los Spikes.

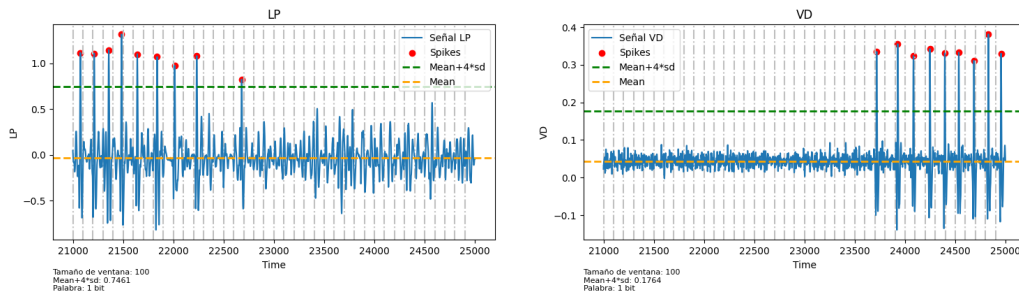


Figura 14: Codificación de Spikes en señales LP y VD en datos de Recuperación.

A continuación, realizamos la medición del porcentaje de error para cada uno de los tamaños

de palabra (bit) y ventana como se aprecia en la Figura 15. De igual forma, que en la información de los archivos anteriores, el porcentaje de error de la neurona LP es superior y crece con mayor rapidez que el error en VD. Además, se puede notar que al incrementar el tamaño de palabra y ventana el error aumenta con mayor rapidez.

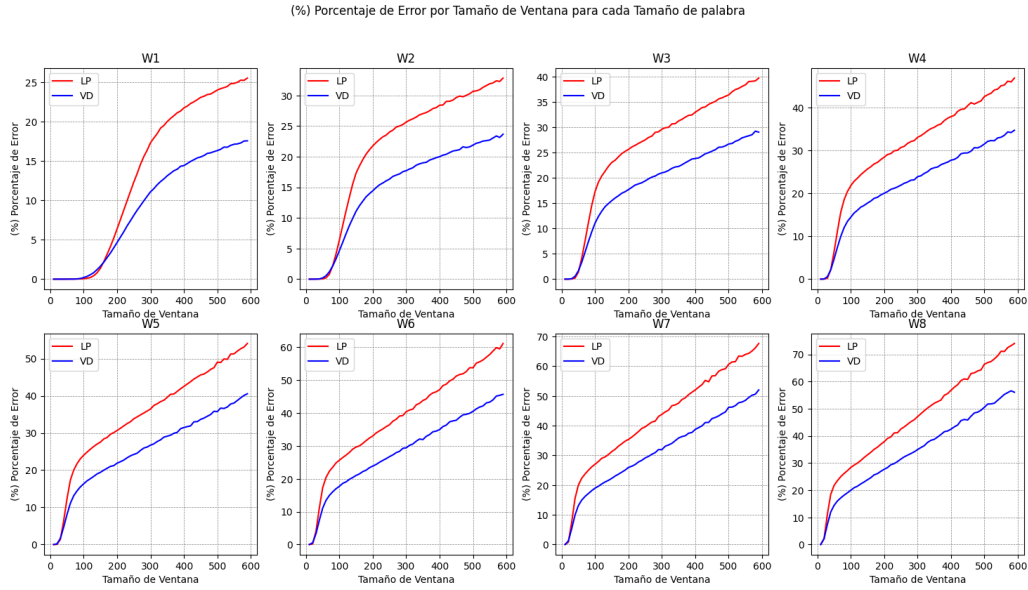


Figura 15: Errores por tamaño de ventana y palabra en las neuronas LP y VD en datos de Recuperación.

Así mismo, en la Figura 16 mostramos la información mutua normalizada por tamaño de ventana y palabra. Se aprecia que el máximo de información mutua normalizada se alcanza con tamaños de ventana más pequeños a medida que aumenta el tamaño de la palabra o número de bits utilizados para la codificación.

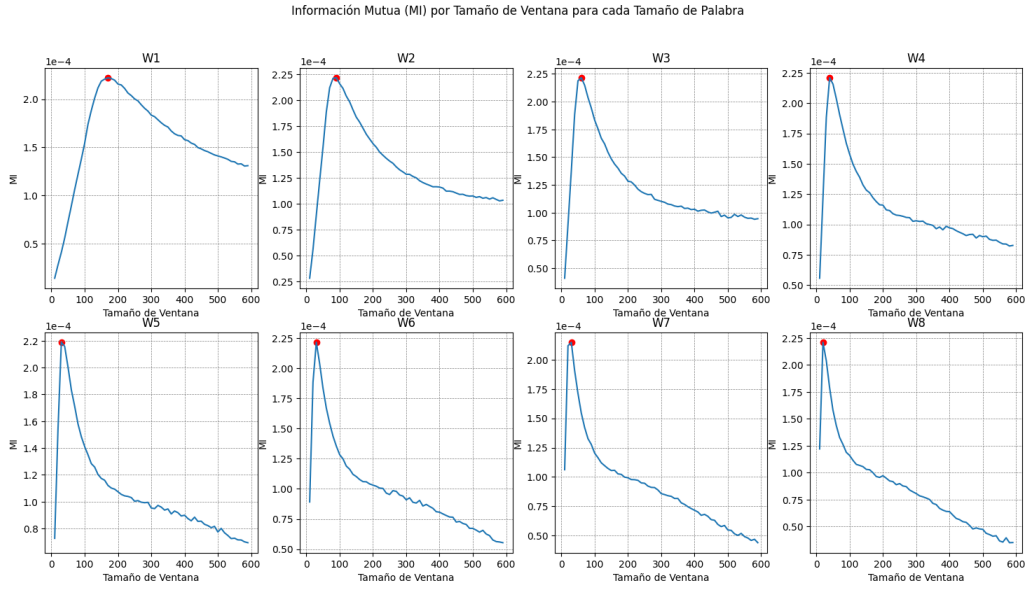


Figura 16: Información Mutua por tamaño de venta para cada número de bits en datos de Recuperación

A continuación, el Cuadro 3 muestra en que tamaño de ventana y palabra se alcanza la máxima información mutua normalizada. También, el valor máximo de información mutua normalizada alcanzado es similar para todos los tamaños de palabra, sin embargo, si se observa una diferencia en el tamaño de ventana en que se llega a este valor.

| Tamaño de Palabra (bit) | Tamaño de Ventana | Máxima MI Normalizada ↓ |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|
| 1                       | 170               | 0.000222                |
| 2                       | 90                | 0.000222                |
| 3                       | 60                | 0.000222                |
| 6                       | 30                | 0.000222                |
| 4                       | 40                | 0.000221                |
| 8                       | 20                | 0.000221                |
| 5                       | 30                | 0.000219                |
| 7                       | 30                | 0.000215                |

Cuadro 3: Tamaño de ventana que maximiza la Información Mutua por Tamaño de Palabra

A continuación, en la Figura 17 se muestra la transferencia de entropía de entre las neuronas LP y VD, y viceversa. En ella se observa que la neurona LP permite obtener más información la neurona VD, y no viceversa.



Trasferencia de Entropía LP a VD (y viceversa) por Tamaño de Ventana para cada Tamaño de Palabra

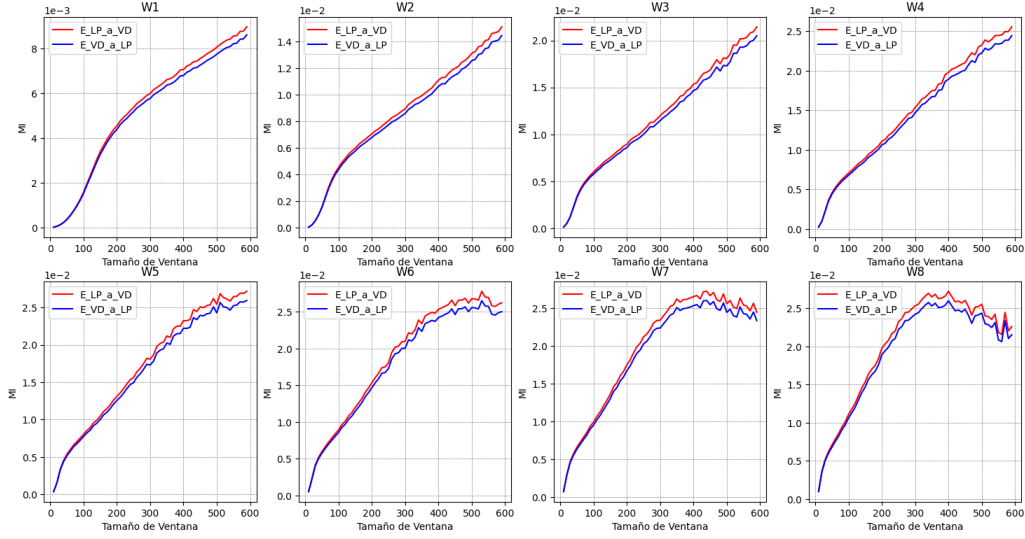


Figura 17: Trasferencia de Entropía entre LP y VD, y viceversa en datos de Recuperación.

### 3.1.4. Resumen resultados

Se realizó el análisis de cada una de las señales a través de los procesos de Control, Inyección Gaba y recuperación. En los tres archivos se obtuvieron resultados similares, en especial, entre los archivos de Control y Recuperación.

En control se pudo apreciar que en cuanto a los errores de la captura de eventos spike el error en LP es superior a VD, el error para ambas neuronas crece de manera importante al aumentar el tamaño de ventana para cada tamaño de palabra, lo cual muestra una correlación positiva entre el error y el tamaño de ventana. Por otro lado, al estudiar la información mutua normalizada se puede notar que el valor máximo alcanzado para los distintos tamaños de palabra y ventana es similar, en particular el valor máximo del MI normalizado se aproxima a 0,00022. Adicionalmente, se puede notar una relación entre el porcentaje de error y la MI máxima, si después de llegar a la ventana en la que se produce la MI máxima se sigue aumentando el tamaño de ventana aumenta el error de forma importante desde ese punto. En este sentido, la gráfica de la MI normalizada permite encontrar la ventana que maximiza la MI y además coincide con un error porcentual bajo, inferior al 10% en todos los casos.

Además, en cuanto a la transferencia de entropía entre LP y VD se puede notar que existe una transferencia de entropía asimétrica, donde LP aporta más información o incertidumbre a VD, y no viceversa. También, se puede ver que la transferencia de entropía aumenta al incrementar el tamaño de palabra hasta cierto punto.

Así mismo, al analizar los resultados obtenidos para la fase de inyección GABA, se puede notar que en el apartado de los errores el porcentaje de error de LP crece más rápido que VD. En comparación con los errores en control, en GABA existe una mayor distancia entre los errores debido a que el error en la captura de los spikes en VD es inferior. Esto indica que al inyectar GABA se reducen los spikes en la neurona VD lo que ocasiona una menor cantidad de errores por tamaño de ventana. Además, en cuanto a la MI al inyectar el GABA influye en la información mutua o relación entre las neuronas LP y VD, específicamente notamos un aumento en la incertidumbre ya que para los distintos tamaños de ventana y palabra obtenemos una máxima MI normalizada inferior al valor obtenido en la etapa de control, teniendo un valor aproximado a 0,00018 para los distintos tamaños de ventana y palabra donde la MI normalizada es máxima. Además, el valor máximo de MI normalizada se obtiene en tamaños de ventana superiores a los de control.

De la misma forma, al analizar la gráfica de transferencia de entropía para la fase de GABA se aprecia que LP proporciona más información sobre VD que viceversa, al igual que en control. Sin embargo, la diferencia de transferencia de entropía entre las direcciones LP a VD y VD a LP es ligeramente mayor. Es decir, al momento de inyectar GABA la neurona LP aporta aun más información sobre VD, teniendo una transferencia de entropía más asimétrica.

Finalmente, al estudiar los resultados obtenidos a partir del archivo de recuperación se puede observar que son similares a los obtenidos en el apartado de control. En cuanto a los errores de igual forma se observa que en la neurona LP se ocasionan más errores al aumentar el tamaño de ventana que en la neurona VD. Por otro lado, se llega a un valor máximo de información mutua normalizada de aproximadamente 0,000222 al igual que en la fase de control. En cuanto a la transferencia de entropía entre las neuronas LP y VD, la neurona LP aporta más información sobre VD, es decir, la relación LP a VD es más fuerte que de VD a LP.

## 3.2. Resultados codificación SAX

### 3.2.1. Análisis datos de Control

Se realiza un análisis de la señal obtenida en los datos de control utilizando la codificación SAX introducida en la sección 2.2 de este documento. Para ello se muestra a continuación la Figura 18 en la cual se observa la codificación mencionada para un trozo de las señales LP y VD. Es importante mencionar que para esta codificación se utilizó un valor de  $a = 2$  para los umbrales superior e inferior, es decir, los umbrales se encuentran a una desviación típica de la media.

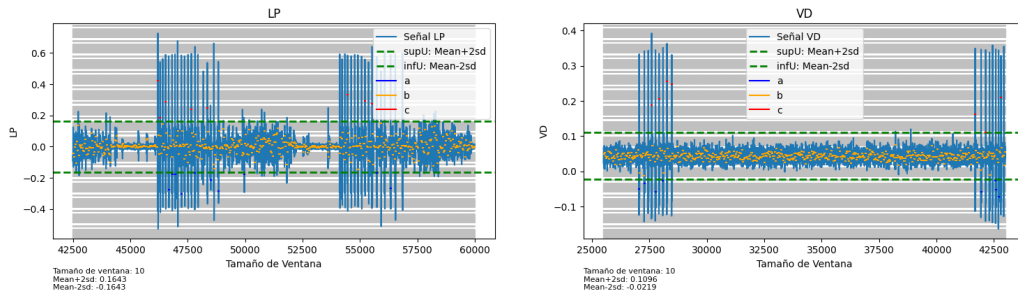


Figura 18: Codificación SAX para neuronas LP y VD con datos de Control.

Ya con la señal codificada se realizó una comparación entre la codificación SAX y de spikes realizada en la sección 3.1, para identificar si los spikes tienen concordancia con la etiqueta  $c$  obtenida en SAX, es decir, se comprueba si una  $c$  en la codificación SAX corresponde a un spike marcado como 1 en la otra codificación. Esta comparación da como resultado que para los tamaños de ventana más pequeños, las señales marcan los mismos spikes de forma correcta, pero a medida que se aumenta el tamaño de ventana aparecen diferencias entre ambas codificaciones. Esto se debe a que la codificación SAX trabaja con la media de cada ventana y al aumentar el tamaño de ventana la media tiende al promedio de la señal, es decir, se codifica como una  $b$  mientras que un spike es el máximo pico de la señal por encima del umbral. Así que al tomar tamaños de ventana cada vez más grandes la diferencia entre estos valores provoca que haya diferencias entre ambas codificaciones.

Con la codificación SAX de la señal obtenida se ha calculado la información mutua, la cual se puede ver en la Figura 19. Donde la información mutua normalizada máxima se obtiene con un

tamaño de ventana de 1, posteriormente al aumentar el tamaño de ventana la información mutua cae debido que los eventos de la señal se codifican con una  $b$ , lo cual minimiza la incertidumbre y entropía, lo que hace que una señal no aporte información de la otra (minimizando la MI).

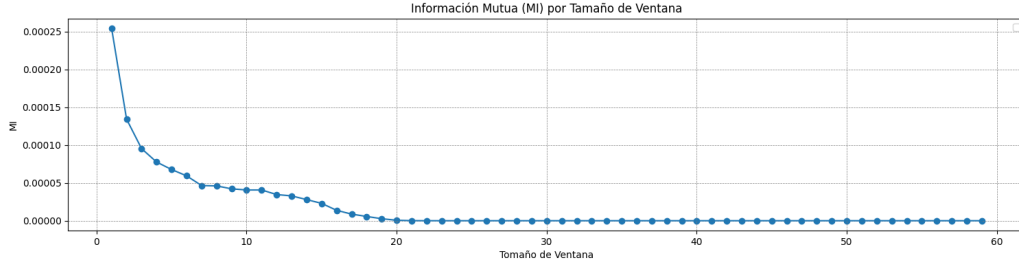


Figura 19: Información mutua para la codificación SAX de los datos de control.

Finalmente, se ha comparado la codificación de las señales de ambas neuronas, para estudiar si hay alguna relación entre ellas como se observa en la Figura 20. Si analizamos este gráfico de izquierda a derecha es posible encontrar un patrón de forma visual, se puede apreciar que al ocurrir spikes o incrementos en el potencial de acción en la neurona LP (“LP cod c”) seguidamente también se producen spikes en la neurona VD (“VD cod c”), de tal manera que existe un patrón entre las señales. El mismo comportamiento se da en las codificaciones “LP cod a” y “VD cod a”, ya que estos eventos vendrían a ser información redundante de los spikes codificados como  $c$ .

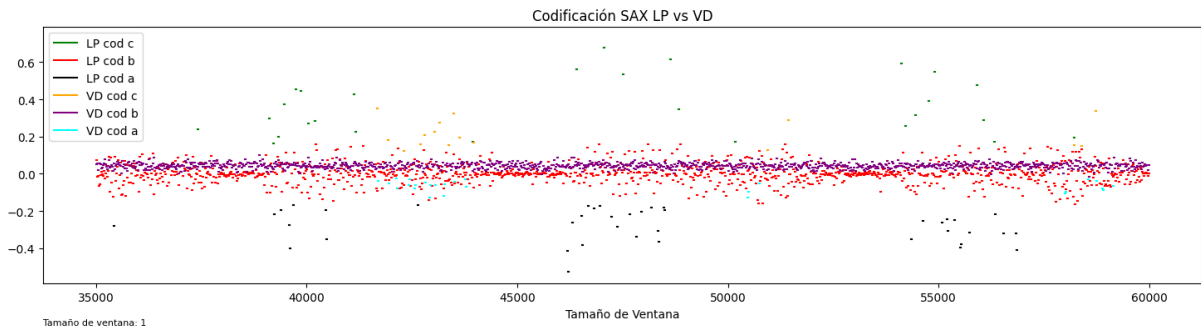


Figura 20: Comparación codificación SAX para las señales LP y VD

### 3.2.2. Análisis datos de Inyección GABA

De la misma forma que se ha hecho con los datos de control se ha procedido con los de GABA, primero se ha codificado la señal tomando 2 desviación estándar, para minimizar el

ruido. Esto es porque al inyectarse GABA se activan también otras neuronas y provocan algo de ruido en la señal. Se puede ver en la Figura 21 un trozo de la señal y su codificación marcada con los colores para un tamaño de ventana 10.

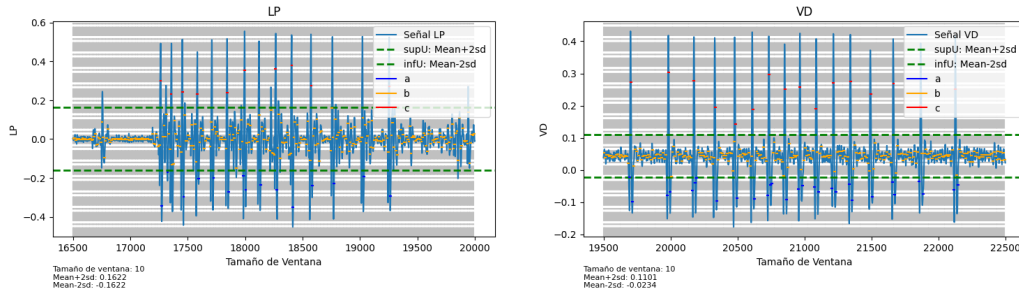


Figura 21: Codificación SAX para neuronas LP y VD con datos de GABA.

En la señal de la neurona LP se puede ver cómo la señal tiene bastante ruido sobre todo en las zonas en las que hay activación, porque ahí son los momentos en los que se ha inyectado el GABA, por lo que se provoca el ruido mencionado anteriormente.

Además se puede observar en la señal de la neurona VD la periodicidad de su activación esto se debe a la respuesta de la neurona por la inyección de GABA.

Al igual que con control se ha calculado la información mutua de la señal, la cual se puede observar en la Figura 22. De igual forma, se aprecia que el máximo valor de MI normalizada se alcanza con la ventana más pequeña.

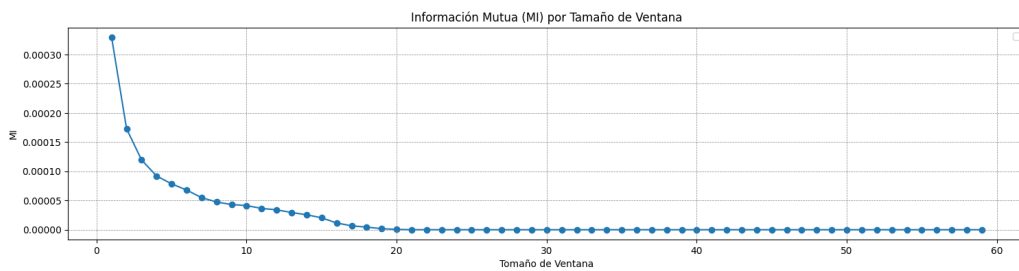


Figura 22: Información mutua para la codificación SAX de los datos de las inyecciones de GABA.

Se ha comparado ambas codificaciones como se puede ver en la Figura 23. Se puede observar que siempre que hay una activación de una de las neuronas se va a activar la otra esto es porque la activación se ve provocada por la inyección de GABA, creando así una relación entre las

activaciones. Si embargo, comparando esta figura con la Figura 20 de control, se aprecia que el patrón observado no están fuerte, es decir, en control el patrón se encuentra más marcado.

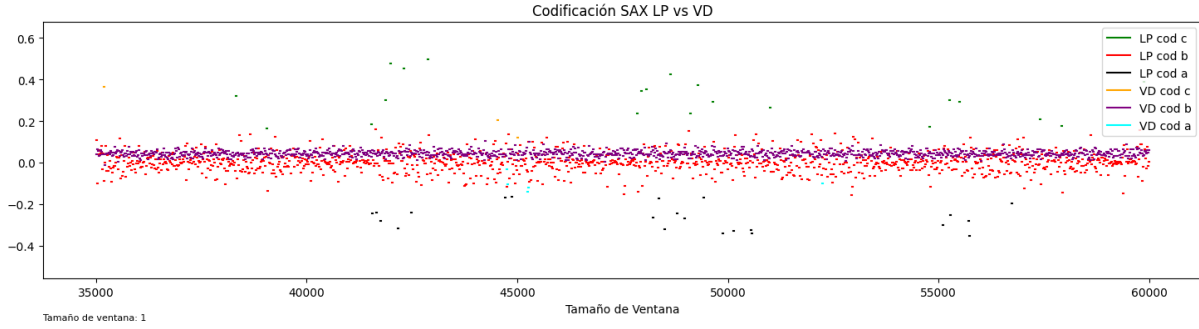


Figura 23: Comparación codificación SAX para las senales LP y VD.

### 3.2.3. Análisis datos de Recuperación

Finalmente para el conjunto de datos de recuperación se ha codificado de la misma forma que el conjunto de datos de GABA ya que al estar las neruonas en estado de recuperación después de las inyecciones de GABA sigue habiendo bastante ruido en la señal, por lo que sigue siendo necesario 2 desviaciones estándar para el cálculo del umbral. Se puede ver en la Figura 24.

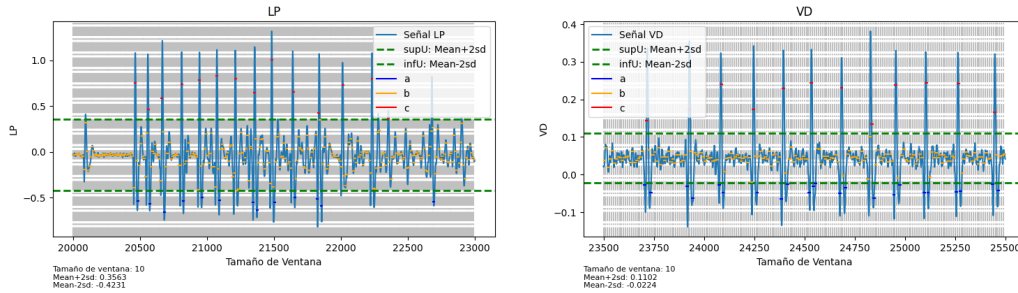


Figura 24: Codificación SAX para neuronas LP y VD con datos de recuperación.

En la Figura 25 se puede apreciar la información mutua normaliza para la fase de recuperación. De la misma forma, se aprecia que se alcanza el valor máximo con una ventana de 1.

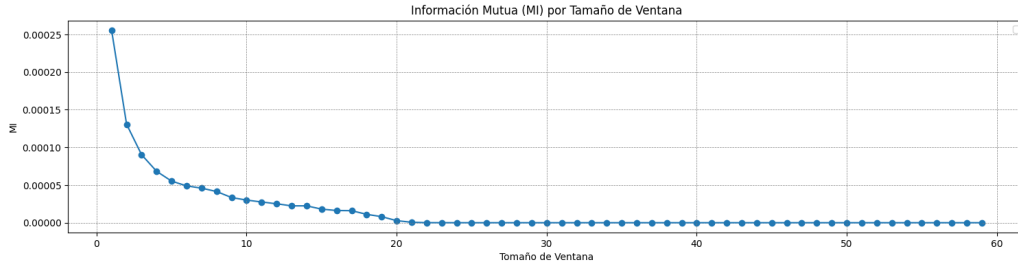


Figura 25: Información mutua para la codificación SAX de los datos de recuperación.

Finalmente, se ha hecho también la comparación de la codificación entre ambas neuronas, obteniendo resultados parecidos a los mencionados anteriormente como se observa en la Figura 26, donde al analizar la figura de izquierda a derecha se observan puntos o activaciones “LP cod c” de la neurona LP y seguidamente de puntos “VD cod c” de la neurona VD. Marcando un patrón donde al activarse una neurona seguidamente también se activa la otra. Sin embargo, en comparación con la Figura 23 obtenida en GABA se aprecia un patrón más claro entre las dos señales, pero este no es tan notorio como el de la Figura 20 en Control donde se observa con mayor claridad una secuencia en la codificación.

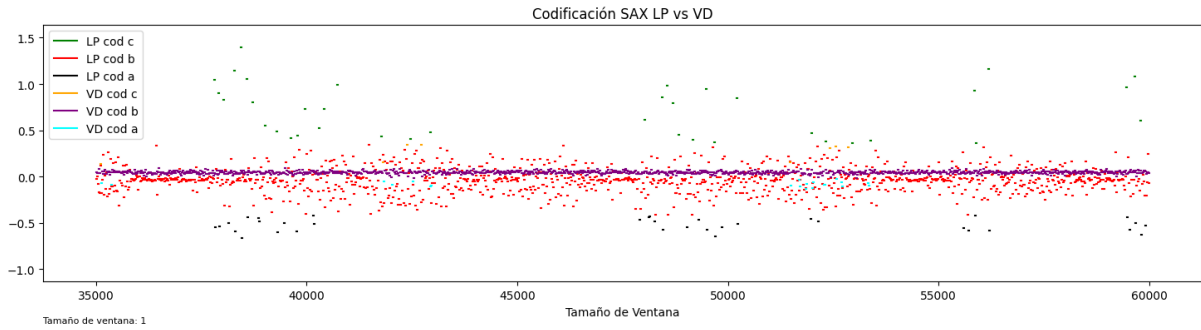


Figura 26: Comparación codificación SAX para las señales LP y VD

### 3.2.4. Resumen resultados

Se ha estudiado la diferencia de resultados obtenida con la codificación SAX en vez de con la codificación temporal. A lo que se ha visto que ambas son equivalentes para tamaños de ventana pequeños, pero que a medida que se aumenta empieza a haber discrepancias entre los mismos.

Se ha visto que para la codificación de los archivos GABA y Recuperación los resultados son

muy parecidos, al contrario que con la codificación temporal, esto se debe a que a medida que aumentaba el tamaño de ventana al hacer la media de los datos en cada una de las ventanas en la codificación SAX era más probable que la media cayese por debajo del umbral, ya que aquí se tuvo que tomar 2 desviaciones estándar a causa del ruido que hay en la señal. Así que las codificaciones se acababan pareciendo mucho porque salen casi todo  $b$ . Esto no pasaba con la codificación de la señal de control, porque ahí solo se tomaba una desviación estándar porque no había casi ruido y no se contaminaba la muestra. Se ha probado también a hacer con 1 desviación estándar pero el ruido mencionado provocaba resultados erróneos.

Se ha comparado la codificación de las señales neuronales para ambas neuronas, de lo que se ha sacado que hay una relación entre la activación de la neurona VD y de la LP, ya que cada vez que se muestra la activación de una de ellas, la otra se activa poco después.