

## RESPUESTAS MOTORAS A LA NEUROESTIMULACIÓN

**Dr. Xavier Sala Blanch**

Servicio de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor.

Hospital Clínic de Barcelona.

Sin duda que el gran avance de las técnicas de bloqueo de plexo en el campo de la anestesiología ha sido consecuencia de la llegada de la neuroestimulación. Esta ha permitido la localización del plexo braquial de una manera segura y a la vez fácil si disponemos de los conocimientos adecuados de anatomía.

La base de la neuroestimulación se centra en la capacidad de que un estímulo eléctrico crea una despolarización de membrana y produzca un potencial de acción. En función de las características de la fibra nerviosa despolarizada (sensitiva o motora) producirá la respuesta clínica. Si bien es cierto que pueden conseguirse despolarizaciones de fibras sensitivas y, por consiguiente, aplicar la técnica de neuroestimulación en territorios y nervios sensitivos puros, estos requieren de una elevada intensidad de estímulo y de la colaboración del paciente para definir el territorio de la parestesia inducida por la neuroestimulación. La realidad práctica es que la neuroestimulación se emplea para conseguir un efecto anestésico (bloqueo sensitivo definido por el criterio o zona quirúrgica) y en cambio se basa en una respuesta motora (Nervio motor) para identificar el nervio concreto. Heste hecho hace que debamos conocer los territorios de inervación sensitiva de los distintos nervios, así como las respuestas motoras propias de los mismos. Con estos conocimientos anatómicos y fisiológicos podremos ser capaces de afrontar el reto de las técnicas locorrejonales mediante neuroestimulación.

La introducción de la neuroestimulación ha permitido:

1.- Difundir las técnicas de bloqueo de plexo y bloqueos periféricos dado que el método de empleo es simple y permite, con mínimos conocimientos anatómicos, realizar técnicas de bloqueo periférico.

2.- Facilitar enormemente el proceso de aprendizaje en anestesia locorregional.

3.- Realizar técnicas de bloqueo selectivas e incrementar su índice de éxito. Acceder a territorios anatómicos distorsionados por patología de base.

4.- Reducir el riesgo de lesión nerviosa (iatrogenia de la punción) siempre que se disponga de los conocimientos anatómicos adecuados.

5.- Poder aplicarse en pacientes no colaboradores (edad pediátrica, demencias, etc.) al poder practicarse bajo sedación.

6.- Mejorar la "Calidad percibida" por el paciente al poder realizarse bajo sedación intensa al disponer de una valoración objetiva de la localización nerviosa.

7.- Mejorar la "Calidad técnica", pudiendo realizar bloqueos nerviosos en territorios selectivos y reducir las dosis requeridas de anestésicos locales.

---

## Técnica de Neuroestimulación eléctrica

Tras la conexión del neuroestimulador correctamente (polo positivo -rojo- colocado sobre la piel del paciente y polo negativo -negro, blanco- conectado a la aguja). El polo positivo deberá, al igual que la placa de bisturí, colocarse lo más cerca posible de la zona a estimular y en el lado opuesto para que la corriente suministrada llegue con la máxima eficacia al nervio que deseamos estimular.

Fase de localización: 2 Hz, 0,3 ms, 1-1,5 mA. Se busca el movimiento deseado a esta intensidad y, una vez hallado, se reduce progresivamente para proceder a la localización fina.

Fase de acercamiento: Reducción progresiva de la intensidad (mínima necesaria para estimular). Esta fase finaliza cuando se obtiene la respuesta motora deseada a una intensidad inferior o igual a 0,5 mA. En anestesia de plexo, y con el concepto de espacio perineural y de vaina aponeurótica, es aconsejable, en general, llegar a parámetros de estimulación de 0,3 mA, aumentando así nuestro índice de éxitos.

Fase de inyección: Tras la localización y el acercamiento óptimo, se inicia la administración del fármaco (Volumen y dosis predefinidas) por el colaborador. Es de gran importancia la inmovilización total de la aguja durante todo el proceso de inyección. Tras una mínima inyección de anestésico (1-2 ml) desaparece la clonía hallada; Esta puede recuperarse aumentando la intensidad de estimulación, sin embargo, ello no es necesario.

Fase de instauración: Tras la administración del fármaco elegido debemos de esperar a que el efecto clínico tenga lugar. Este periodo de espera es importante para informar y dar seguridad al paciente, así como para realizar una valoración del resultado del bloqueo; no debe iniciarse una intervención sin la seguridad teórica del bloqueo efectivo.

No es difícil comprender que las respuesta motoras dependerán de varios factores:

1.- ***Inervación muscular del nervio estimulado distal al lugar de punción.***

Como es lógico, la respuesta muscular esperada por la punción a nivel del carpo del mediano difiere de la hallada a nivel del codo.

2.- ***Grupo muscular preferentemente estimulado.*** A un mismo nivel de estímulo, la respuesta muscular puede variar en función la aferencia muscular específica de las fibras nerviosas estimuladas. El nervio está compuesto por un haz de fibras que se distribuyen por los distintos territorios musculares y sensitivos; la respuesta hallada puede ser específica de un músculo concreto. Sin embargo, la respuesta hallada debe siempre ser (idealmente) distal al nivel estimulado ya que en otro caso podríamos estar estimulando un nervio colateral específico y no el nervio terminal.

3.- ***Nivel del plexo estimulado.*** El plexo braquial se caracteriza por el entrecruzamiento de fibras nerviosas, es por ello que, a nivel de raíces, troncos, divisiones y fascículos, las respuestas van a ser distintas y, de dentro a fuera (raíces a nervios terminales) cada vez más específicas del nervio terminal concreto.

Si conocemos estas características y conocemos la anatomía, los nervios colaterales y al nivel donde realizamos la estimulación, podemos emplear los conocimientos de neuroestimulación con éxito.

**PLEXO BRAQUIAL**

El plexo braquial y sus nervios terminales pueden ser estimulados durante todo su recorrido y, de una manera simplista podríamos decir que las distintas técnicas afectan a distintos territorios del plexo y, por consiguiente diferentes respuestas motoras:

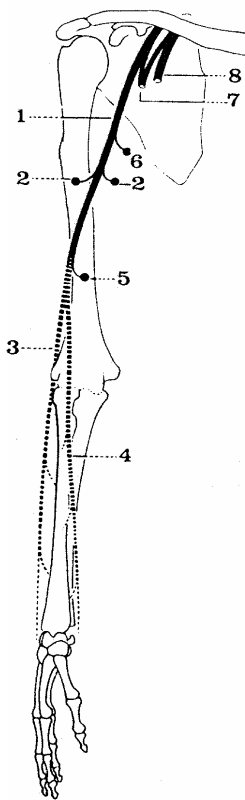
Técnica de bloqueo	Nivel de estímulo	Respuesta NO-válida
<b>Espacio</b>		
<b>Supraclavicular:</b>		
Interescalénico	Raíces(respuesta metamérica)	Evitar respuestas de los ramos colaterales
Supraclavicular	Troncos	Supraclaviculares.
<b>Espacio</b>		
<b>infraclavicular:</b>		
Infraclavicular	Fascículos	Evitar respuestas de los ramos colaterales Infraclaviculares.
<b>Nervios terminales:</b>		
Axilar		Evitar respuestas de músculos específicos de la zona estimulada (respuesta distal)
Codo		
Muñeca		

## NERVIOS TERMINALES:

Los nervios terminales cutáneo medial del brazo y antebrazo son únicamente sensitivos. Los demás nervios terminales son mixtos, sensitivos y motores.

### Nervio Musculocutáneo

Inerva los tres músculos de la región anterior del brazo y la piel de la región antero-lateral del antebrazo.



- 1.- Nervio musculocutáneo
- 2.- Bíceps braquial  
-Flexión y Supinación antebrazo-
- 3.- Rama posterior (Sensitiva)
- 4.- Rama anterior (sensitiva)
- 5.- Braquial anterior  
-Flexión antebrazo-
- 6.- Coracobraquial -aducción y antepulsión brazo-
- 7.- N mediano
- 8.- N Cubital

### Nervio Mediano

#### *Ramos motores:*

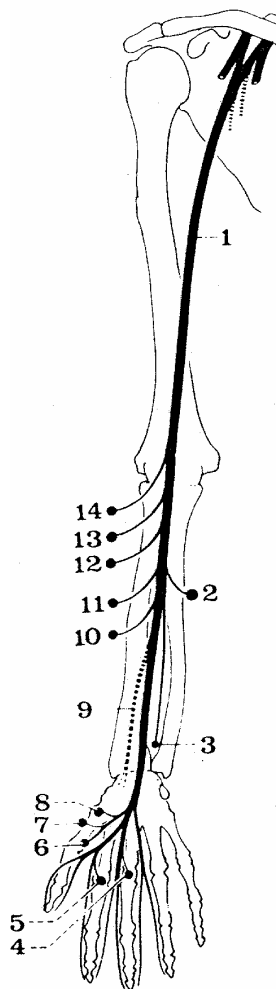
Destinados a todos los músculos de la región anterior del antebrazo, con excepción del flexor cubital del carpo y los dos fascículos mediales del flexor profundo de los dedos.

Músculos de la eminencia tenar con excepción del aductor y la cabeza profunda del flexor corto.

2 primeros lumbricales

*Ramos sensitivos:*

Piel de la región palmar lateral a la línea que pasa por el eje longitudinal del anular. Cara dorsal de las 2 últimas falanges del índice y medio y mitad lateral del anular.



1.- N. mediano

2.- Flexor común profundo (2<sup>o</sup>-3<sup>o</sup> dedos)

**Flexión mano y 3<sup>a</sup> fal 2-3**

3.- Pronador cuadrado

**Pron. antebrazo-mano**

4-5.- Segundo y primer lumbricales

**flex 1<sup>a</sup> i Ext 2<sup>a</sup>-3<sup>a</sup> falanges**

6.- Oponente pulgar

**Oposición pulgar**

7.- Fascículo sup. Flex, corto pulgar

**Flex 1<sup>a</sup> fal pulgar.**

8.- Abductor corto pulgar

**abductor pulgar**

9.- Rama cutánea palmar

10.- Flexor largo propio pulgar

**Flexión 2<sup>a</sup> fal pulgar**

11.- Flexor común superficial

**Flexión man y 2<sup>a</sup> fal 2-5**

12-13.- Palmar menor y mayor

**Flexión mano**

14.- Pronador redondo

**Pronador antebrazo**

**Carpo: OPOSICIÓN PULGAR**

**Codo: FLEXIÓN MANO, DEDOS (2<sup>o</sup>-3<sup>o</sup>) Y PRONACION**

## Nervio Cubital

### *Ramos motores:*

Destinados a: flexor cubital del carpo y los dos fascículos mediales del flexor profundo de los dedos.

Músculos de la eminencia hipotenar

Interóseos, aductor del pulgar, a la cabeza profunda del flexor corto pulgar y 2 últimos lumbricales.

### *Ramos sensitivos:*

Mano (mitad medial)

1.- N. Cubital

2.- Cubital anterior

### **Flexión + aducción mano**

2'.- Rama cutánea anterior

3.- Palmar cutáneo

4.- Abductor 5º dedo

Abducción meñique

5.- Oponente 5º dedo

Oposición meñique

6.- Flexor corto 5º dedo

### **Flexión 5º dedo**

7-8.- 4º y 3º lumbricales

Flex 1ª y ext 2-3 falanges

9.- Interoseos palmares (4) Flex 1ª y ext 2-3 falanges +

10.- Interoseos dorsales (4) mov. **Lateralidad dedos**

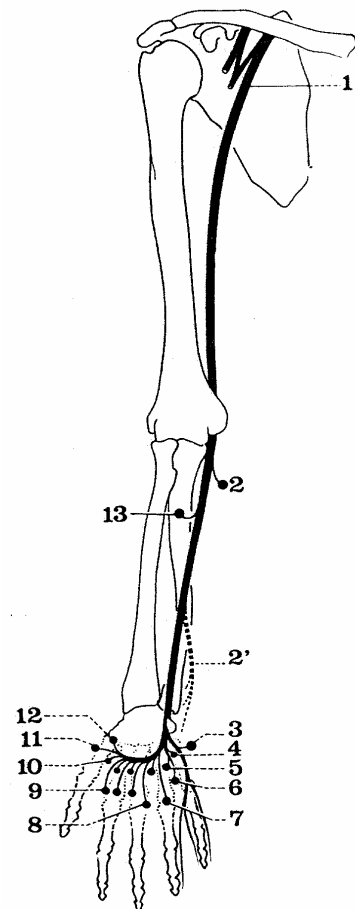
11.- Fasc. Prof. flex. corto pulgar Flex 1º fal. Pulgar

12.- Aductor pulgar **Aducción primer metacarpiano**

13.- Flexor común profundo (4º-5º ded) **Flex mano y 3º fal**

**Carpo: Adducción pulgar + lateralización y extensión dedos + mov meñique.**

**Codo: ADDUCCION MANO, FLEXION DEDOS (4º-5º).**





## Nervio Radial y Axilar (Circunflejo)

*Ramos motores:* Axilar: Destinados al: Subescapular, deltoides y redondo menor.

Radial: Músculos posteriores del brazo y todos los laterales y posteriores del antebrazo.

*Ramos sensitivos:* Axilar: Articulación del hombro, piel del muñón del hombro y lateral del brazo.

Radial: Piel cara posterior brazo, antebrazo y mano.

### Circunflejo:

2.- Deltoides **abducción** brazo

3.- Ramos cutáneos hombro

22.- Redondo menor **Rotación interna** brazo

### Radial:

4-5-21.- Tríceps braquial **Extensión antebrazo**

6.- Supinador largo **Flexión antebrazo**

7-8.- Primer y 2º radiales **Extensión y abducción**

### mano

9.- Supinador corto **Supinación antebrazo**

10.- Ancóneo **Extensión antebrazo**

11.- Extensor común dedos **Extensión 4 últimos**

### dedos

12.- Extensor prop. 5º **Extensión meñique**

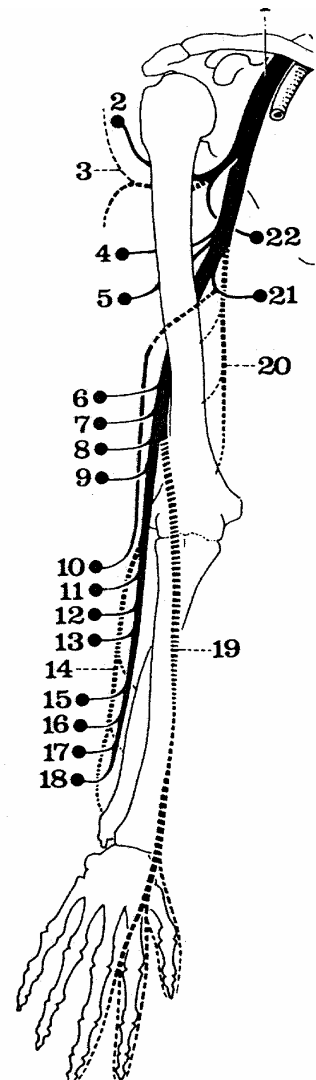
13.- Cubital posterior **Extensión y aducción**

### mano

14.- Rama cutánea externa

15.- Abductor largo pulgar **Abducción pulgar**

16-17.- Extensor corto y largo pulgar **Extensión pulgar**



18.- Extensor prop. 2º Extensión índice

19.- Rama anterior sensitiva

20.- Rama cutanea interna

**Radial:** Extensión mano y dedos.

Extensión mano con Abducción ó adducción

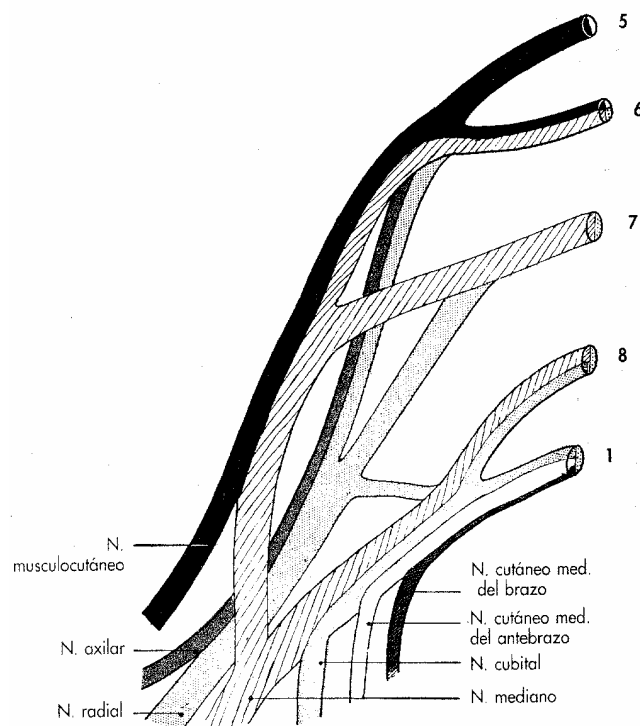
Supinación antebrazo

**Axilar:** Extensión antebrazo

## PLEXO

Las respuestas motoras a medida que nos alejamos de los ramos terminales van a ser más complejas y difíciles de determinar. Por ello, debemos siempre de recordar las reglas de oro y buscar una respuesta alejada de la zona donde realizamos la estimulación; és decir, siempre respuestas a nivel del codo o distales al mismo.

A pesar de lo comentado, las respuestas motoras vienen definidas por los territorios dermatómicos y los cambios que se producen durante la formación del plexo que observamos en el siguiente esquema:



---

Los territorios motores periféricos de los segmentos medulares son los que determinan los movimientos que observamos durante la estimulación a nivel Supraclavicular y estos son:

(Teniendo en cuenta que todos los músculos están inervados como mínimo por 2 segmentos medulares)

C4.-           Supraespinoso, infraespinoso  
                  Deltoides, redondo menor  
                  Biceps braquial, coracobraquial  
                  braquioradial

C5-6.-Músculos del hombro y región anterior brazo,  
                  Supinador, braquioradial  
                  Músculos pronadores

C6.-           Serrato anterior, Pectoral mayor y dorsal ancho  
                  Tríceps braquial

C7-8           Pectoral mayor y dorsal ancho  
                  Tríceps braquial  
                  Músculos extensores mano y dedos  
                  Músculos flexores mano

C8             Músculos flexores mano  
                  Músculos flexores dedos

T1             Motricidad intrínseca de la mano y contribuye a los flexores y  
                  extensores de los dedos.

Teniendo en cuenta que las técnicas supraclaviculares suelen estimular a los segmentos medulares altos, debemos conocer esta inervación e identificar el movimientos de los músculos cuyos nervios se forman y abandonan el plexo más

allá del punto de estimulación. Por la dificultad en la identificación fina de los movimientos del hombro, producidos en su mayor parte por los nervios colaterales supra e infraclaviculares, resulta conveniente identificar respuestas motoras más distales a esta articulación.

Las respuestas observadas por la estimulación supraclavicular son las de:

Abducción del brazo (Axilar): Deltoides (C5)

Flexión antebrazo (Musculocutáneo): Bíceps (C6)

Extensión antebrazo (Radial): Tríceps (C7)

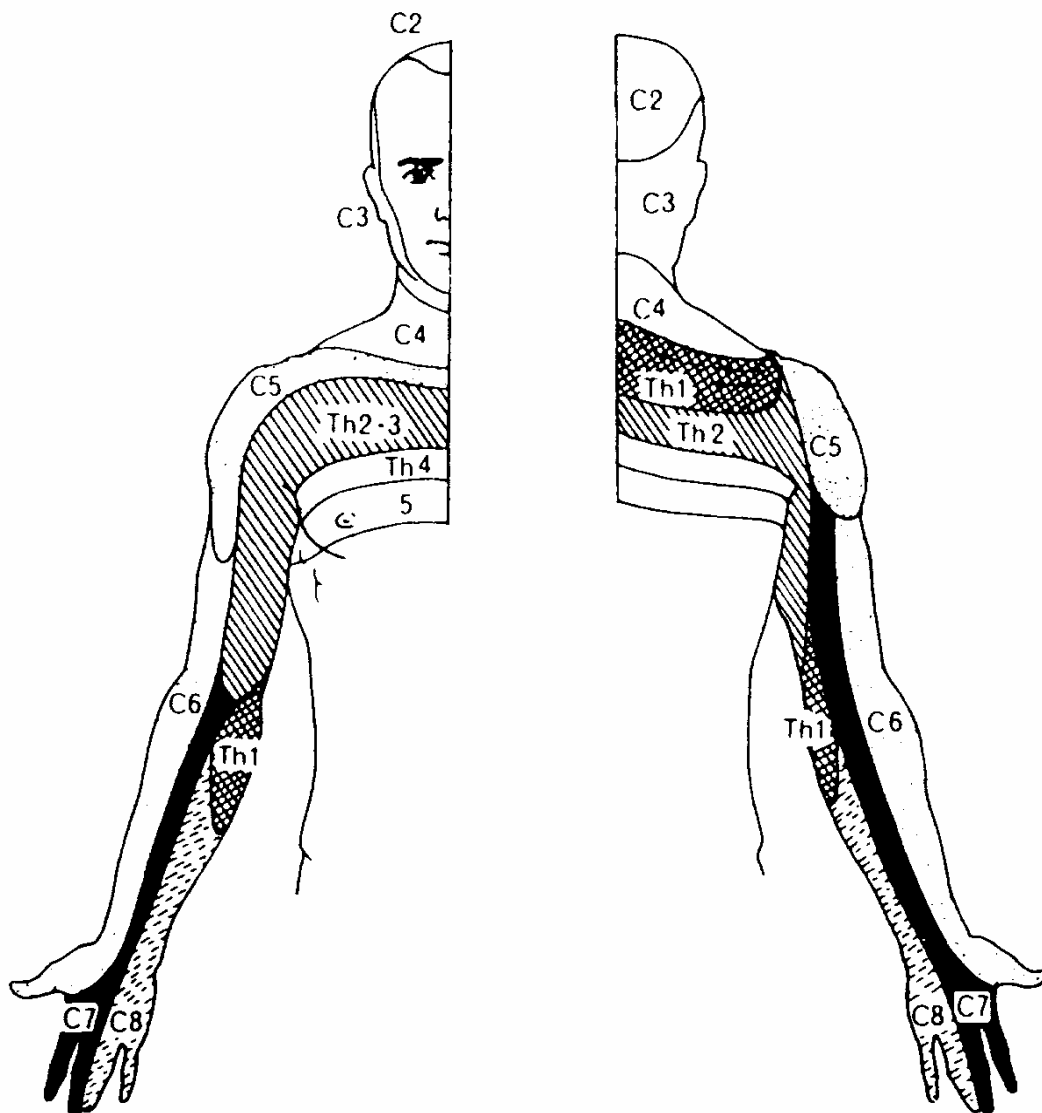
Pronación-Supinación antebrazo (C6-7)

Todas estas respuestas motoras van a demostrar la localización en territorio del plexo braquial.

### Territorios de Inervación sensitiva del miembro superior

La inervación sensitiva puede ser valorada igualmente a nivel del segmento medular, cuya inervación sensitiva es muy constante y a nivel de los nervios terminales, cuya variabilidad es extremadamente amplia.

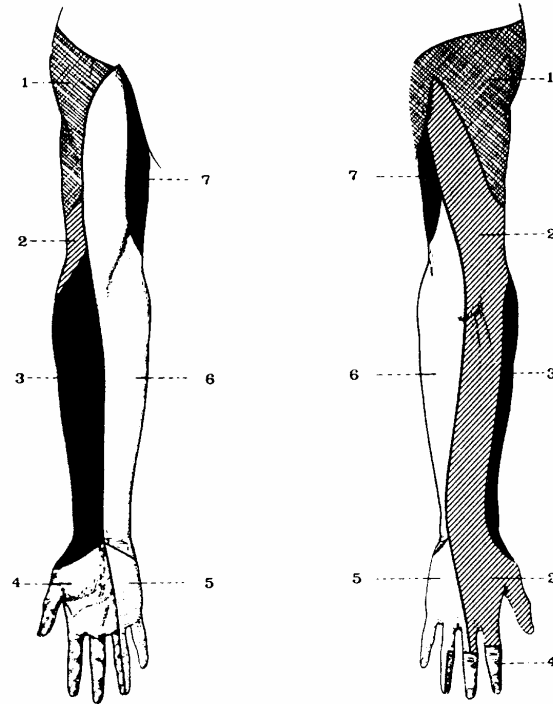
#### TERRITORIOS SENSITIVOS MEDULARES:



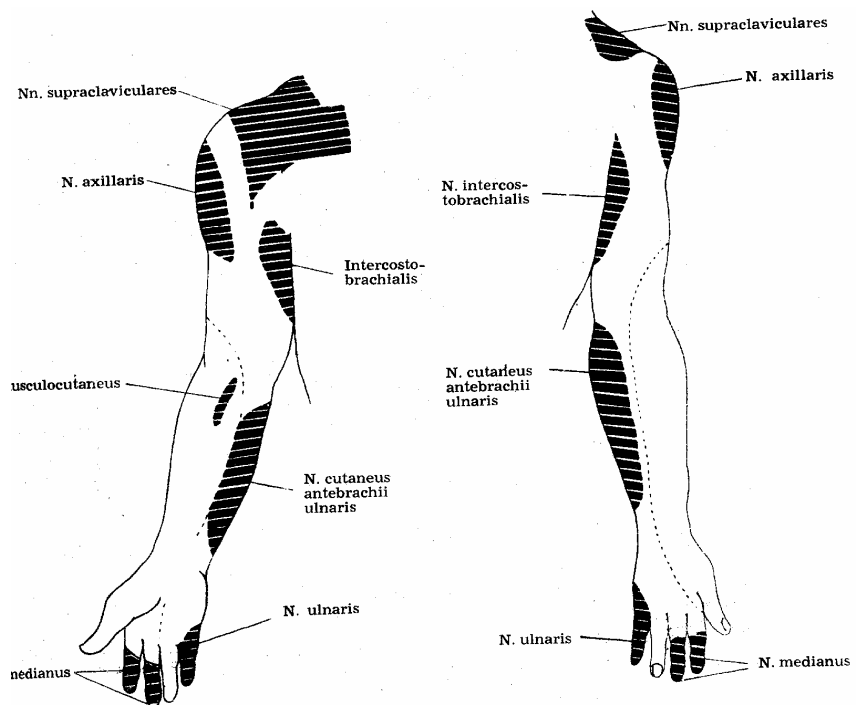
TERRITORIOS SENSITIVOS NERVIOS TERMINALES:

**CLÁSICO:**

- 1.- Circunflejo
- 2.- Radial
- 3.- Musculocutáneo
- 4.- Mediano
- 5.- Cubital
- 6.- Cutáneo medial del antebrazo
- 7.- Cutáneo medial del brazo



**CONSTANTE:**



## PLEXO LUMBOSACRO

### **N. Femoral (Figura 1)**

Nace de las divisiones dorsales de los ramos ventrales de L2, L3 y L4. Desciende entre las fibras del psoas mayor, sale por el borde externo del mismo y descende entre este y el ilíaco, en el interior de la fascia ilíaca. Entra en el muslo por debajo del ligamento inguinal y se separa en una división anterior y otra posterior. En el abdomen, emite ramos para el ilíaco y el pectíneo.

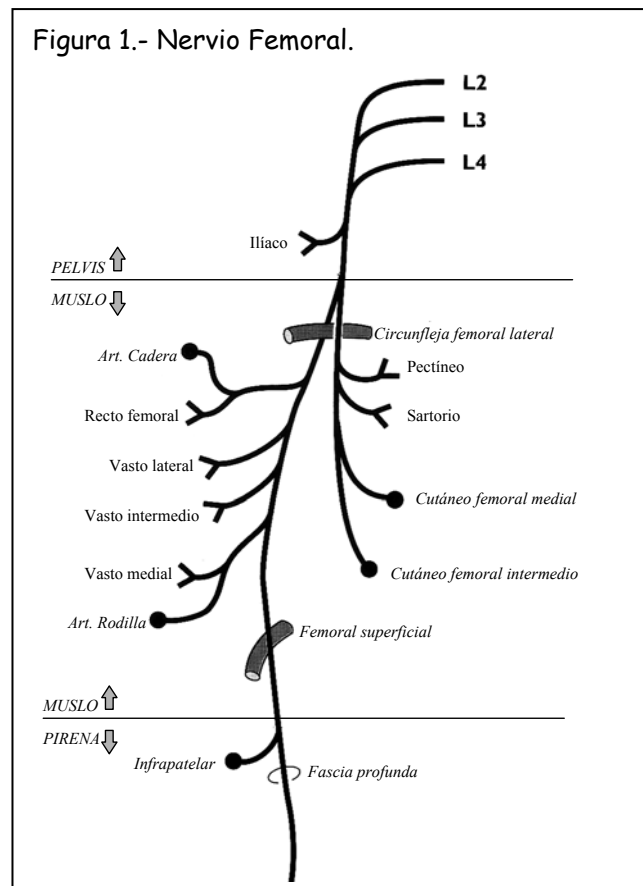
La división anterior suministra los nervios cutáneos intermedio e interno del muslo que inervarán la

parte antero-interna del muslo. Finalmente suministra inervación al sartorio.

La división posterior aporta ramos musculares al cuádriceps femoral, ramos articulares para la rodilla y el ramo sensitivo: el nervio safeno interno.

### **N. Obturador (Figura 2)**

Nace de las divisiones ventrales de los ramos ventrales de L2 a L4, siendo L3 el ramo principal y más grueso, y L2 el más pequeño. Desciende a través de las fibras musculares del psoas mayor y emerge internamente al psoas en el borde de la pelvis, sigue por debajo de la arteria y vena ilíaca primitiva y se dirige hacia abajo y adelante por la pared externa de la pelvis menor, situándose sobre el



obturador interno, por encima y por delante de los vasos obturadores. Entra en el muslo por el agujero obturador, previamente a su paso se divide en sus ramos terminales anterior y posterior que se van separando a través del músculo obturador externo y, más abajo por el músculo adductor menor.

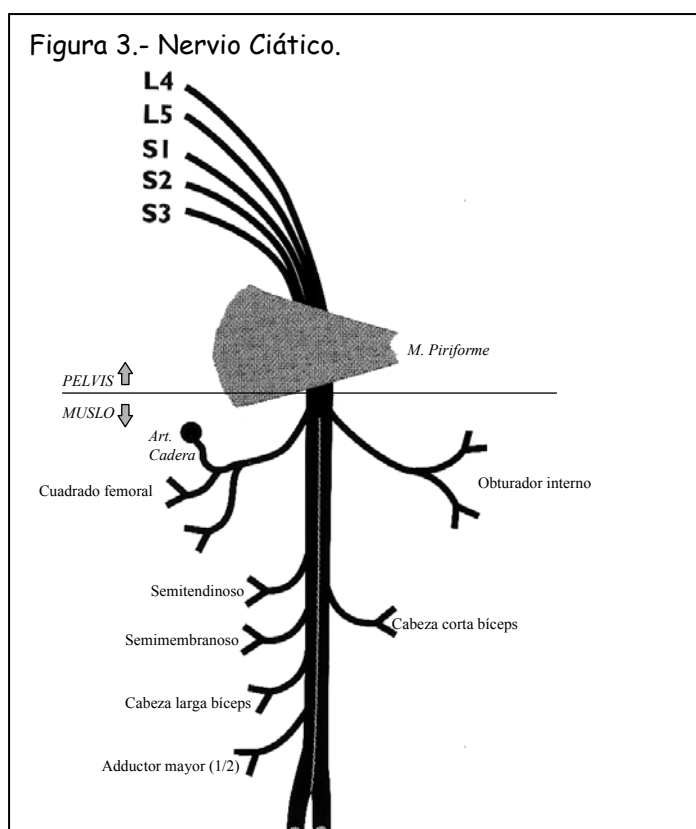
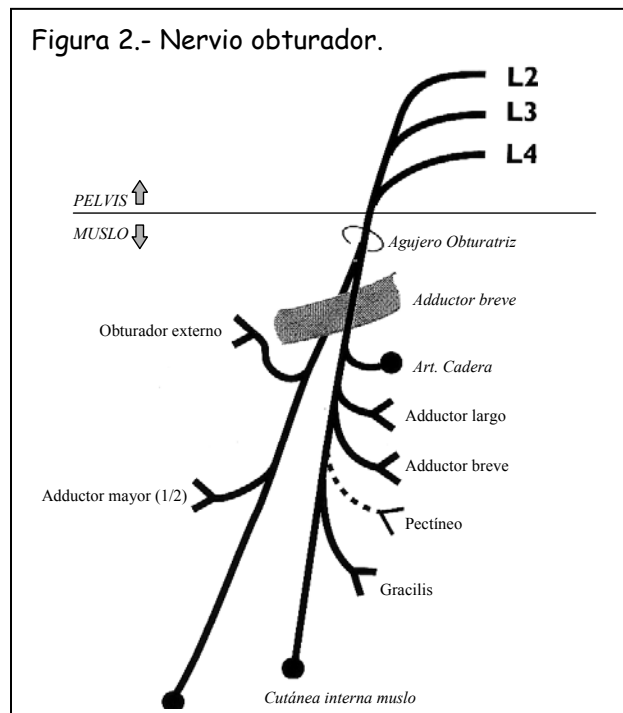
El ramo anterior abandona la pelvis por delante del obturador externo, desciende por delante del adductor menor y por detrás del pectíneo y adductor mediano. A este

nivel se superficializa y se distribuye por la piel de la zona y realiza anastomosis con el nervio femoral. Cerca del agujero obturador da un ramo a la articulación de la cadera.

El ramo posterior perfora el obturador externo al que inerva, pasa posterior al adductor menor y se distribuye por el adductor mayor y menor. Da un ramo terminal para la articulación de la rodilla.

### Nervio ciático (Figura 3)

El nervio ciático mayor sale de la pelvis por el agujero ciático mayor, por debajo del piramidal y desciende entre el trocánter

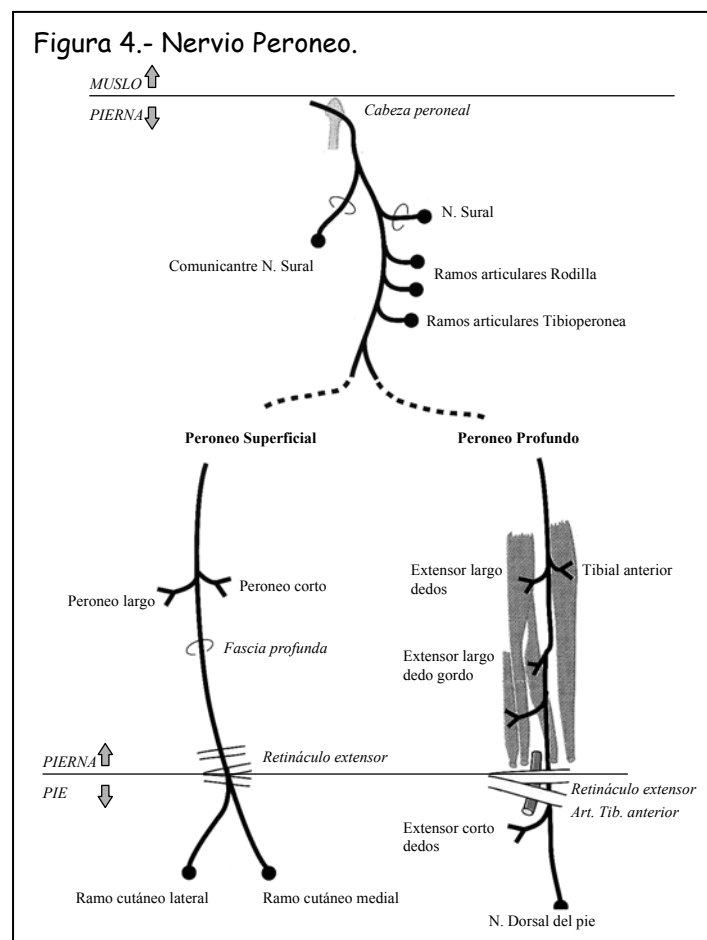




mayor y la tuberosidad isquiática a lo largo de la parte posterior del muslo hasta el 1/3 distal que se divide en 2 grandes troncos, el tibial y el peroneo común. En la parte superior se sitúa entre el isquion y el glúteo mayor, pasa a través del obturador interno, los gemelos, el cuadrado femoral y el obturador externo. Más distalmente se sitúa sobre el adductor mayor y la porción larga del bíceps le cruza oblicuamente. Da ramos articulares para la articulación de la cadera y ramos musculares para el bíceps femoral, semimembranoso, semitendinoso y la porción isquiática del adductor mayor.

### Nervio Peroneo (Figura 4)

El nervio peroneo común atraviesa el hueco poplíteo por dentro del tendón del bíceps femoral y cuando alcanza el lado lateral se dobla hacia delante en dirección al cuello del peroné. En esta posición es palpable. El nervio emite ramas para la articulación de la rodilla y para la piel de la cara dorsal y posterolateral de la pantorrilla, luego se divide en sus ramos terminales: los peroneos superficial y profundo.



El nervio peroneo superficial sigue por el compartimento lateral de la pierna donde inerva los peroneos largo y corto y en el 1/3 inferior de la pierna se

hace superficial e inerva la cara inferolateral de la pierna, y la parte anterior del tobillo y dorso del pie.

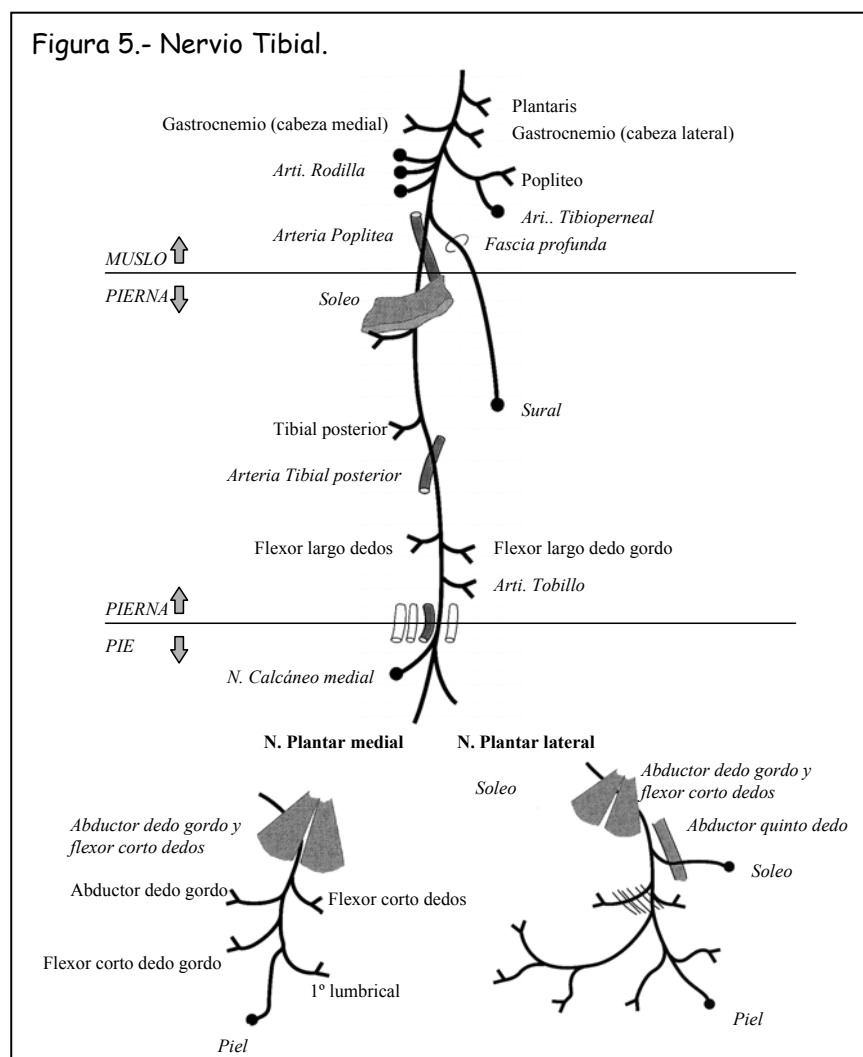
El nervio peroneo profundo entra en el compartimento anterior de la pierna y desciende con los vasos tibiales anteriores. En el tobillo se encuentra entre los tendones del extensor largo del dedo gordo (dentro) y el extensor de los dedos (fuera). Inerva todos los músculos del compartimento anterior de la pierna y, en el pie, el extensor corto de los dedos. Inerva las articulaciones del tobillo y pie y finaliza con inervación cutánea entre los dedos 1° y 2°.

El nervio sural lo forma ramos provenientes del nervio tibial y peroneo común. Desciende por el dorso de la pantorrilla a la que inerva.

**Nervio tibial (Figura 5)**

Sigue en línea recta por el hueco poplíteo para entrar en la pierna. Inerva todos los músculos flexores del dorso de la pierna y la planta del pie; la piel de la mitad inferior del dorso de la pierna y el lado externo de la pierna y la planta del pie. Da inervación a las articulaciones de la rodilla, tobillo y pie. En la parte posterior del

Figura 5.- Nervio Tibial.



maleolo interno, el tibial se divide en sus ramos terminales, la plantar medial y la lateral.

## **RESPUESTAS MOTORAS. MUSCULOS IMPLICADOS EN LOS MOVIMIENTOS ARTICULARES.**

Cadera.

La inervación sensitiva de la cadera procede de los nervios femoral (recto femoral), obturador (ramo anterior), ciático (nervio del cuadrado femoral) y glúteo superior. Presenta movimientos de dorsiflexión, abducción-adducción y rotaciones.

Flexores: Iliopsoas, tensor de la fascia lata y recto femoral.

Extensores: Glúteo mayor, semitendinosos, semimembranoso y bíceps femoral.

Abductores: Glúteo medio y menor

Adductores: Mayor, largo y corto.

Rotadores mediales: Tensor fascia lata y glúteos medio y menor.

Rotadores externos: Obturador interno y géminos, obturador externo y cuadrado femoral.

Rodilla

La inervación sensitiva de la rodilla procede del obturador, femoral, tibial y peroneo común. La rodilla realiza movimientos de flexo-extensión y cierto grado de rotación.

Flexores: Semimembranoso, semitendinoso y bíceps femoral

Extensores: Cuádriceps femoral

Rotadores mediales de la tibia: Popliteo, semimembranoso y semitendinoso.

Rotadores laterales: Bíceps femoral.

#### Tibioperoneas:

La inervación sensitiva de la articulación tibioperonea proximal depende del peroneo común y del nervio del músculo poplíteo y carece de movimiento efectivo. La distal se halla inervada por el peroneo profundo, el tibial y el safeno.

#### Tobillo:

La inervación del tobillo procede del tibial y del peroneo profundo. Presenta movimientos de flexión dorsal y palmar.

Flexión dorsal: Tibial anterior y extensor largo de los dedos.

Flexión plantar: Tríceps sural: Gastrocnemio y Sóleo.

#### Articulaciones intertarsianas:

Inversión: Tibial anterior y Tibial posterior.

Eversión: Peroneo largo y corto.

Flexión plantar: Tibial posterior, Abductor del dedo gordo y pequeño y flexor corto dedos.

#### Articulaciones metatarsofalángicas:

Flexión: Flexor corto dedos, lumbricales, interoseos y flexores largo y corto del dedo gordo.

Extensión: Extensor largo del dedo gordo y extensor largo y corto de los dedos.

Abducción: Interoseos dorsales y abductores de los dedos gordo y pequeño.

Adductores: Interoseos plantares y adductor del dedo gordo.

**Articulaciones interfalángicas:**

Flexión: Flexor largo y corto de los dedos y flexor largo del dedo gordo.

Extensión: Extensor largo y corto de los dedos y extensor largo del dedo gordo.

**Respuestas metaméricas**

La inervación segmentaria de los movimientos de la extremidad inferior puede verse en la tabla II.

Tabla II.- Inervación segmentaria de los movimientos de la extremidad inferior

Articulación	Acción muscular	Raíz	Acción muscular	Raíz
Cadera	Flexores, aproximadores y rotadores internos	L1-L3	Extensores, separadores y rotadores externos	L4-5, S1
Rodilla	Extensores	L3-4	Flexores	L5-S1
Tobillo	Dorsiflexores	L4-5	Flexores plantares	S1-2
Subastragalina	Inversores	L4-5	Eversores	L5-S1
Pie	Extensores dedos	L5-S1	Flexores largos dedos Intrínsecos planta	S2 S3

### **Bibliografía recomendada**

Birch R. "Surgical Disorders of the Peripheral Nerve." Ed. Churchill Livingstone. Baltimore, 1999.

Katz J. "Atlas de Anestesia Regional." Ed. Salvat. Barcelona, 1987.

Lazhortes G. "Sistema Nervioso Periférico" Ed. Toray - Masson. Barcelona, 1972.

Netter, F. H. "Atlas de Anatomía Humana", ed. Masson, 2ª ed., EEUU, 1999.

Rouvière H. "Anatomía Humana." Tomo III. 10 edición. Ed. Masson. Barcelona, 1999.

Testud L. "Tratado de Anatomía Humana." Vol III. Salvat editores. Barcelona, 1980.

Moore KL. "Anatomía con orientación clínica." Ed. Panamericana SA. 3ª edición. Madrid, 1993.