

## Capítulo 8

# LESIONES PRODUCIDAS POR LA ELECTRICIDAD

I. García-Alonso

Etiología: la corriente eléctrica  
*Concepto*  
*Parámetros que la caracterizan*  
*Variedades*  
 Patogenia  
*Accidentes eléctricos*  
*Mecanismos de protección*  
*Factores moduladores*  
 Anatomía patológica  
*Quemaduras eléctricas*  
*Piel*  
*Vasos y nervios*  
*Otros tejidos*

*Electrocución*  
*Otras lesiones*  
 Clínica  
*General*  
*Local*  
 Diagnóstico  
 Tratamiento  
*Inicial: separar, reanimar*  
*General: reposición de la volemia*  
*Local: la quemadura eléctrica*  
 Quemaduras eléctricas de la boca

Dentro de los traumatismos producidos por agentes físicos (*una energía que actúa externamente sobre nuestros tejidos, logrando superar su resistencia*) se encuadran aquellos producidos por el paso de una corriente eléctrica a nuestro través.

El traumatismo (*el efecto producido por la electricidad*) se origina por el calor producido por la corriente y por la alteración que el movimiento de electrones induce en tejidos con actividad eléctrica.

### Etiología

El agente causal de este tipo de traumatismos es la electricidad: el desplazamiento de electrones a través de un cuerpo (al que llamamos conductor). Se le llama también corriente eléctrica porque se comporta como un fluido.

### Parámetros que definen la corriente

Como en cualquier tipo de fluido que se desplaza, hay que considerar la cantidad y la fuerza. Si nos fijamos en una corriente de agua, hablaremos de su caudal (volumen de agua que se desplaza por unidad de tiempo), que distingue con facilidad el Nervión del Amazonas. Pero también hablaremos de la fuerza con que se desplaza, que puede resultar muy determinante; así, el mismo caudal puede desplazarse mansamente por una calle, o cortar una plancha de acero.

Centrándonos en la electricidad, la cantidad de electrones que se desplazan por el conductor en una unidad de tiempo lo llamamos intensidad de la

corriente, y se mide en amperios. Y la fuerza de que disponen esos electrones para su desplazamiento se describe como potencial o voltaje, y se cuantifica en voltios.

Pero como ocurre en tantas situaciones ordinarias de la vida, desplazarse puede no ser sencillo, y se ha de vencer una resistencia; como cuando intentamos atravesar una multitud que espera a entrar en un estadio. En el ámbito eléctrico, a la dificultad que opone un cuerpo a que sus electrones se desplacen, lo denominamos resistencia, y se mide en ohmios.

Por lo tanto, si los electrones han de vencer una resistencia para moverse, gastan una energía en ello. Así, existe una relación entre la resistencia del conductor, el voltaje de la corriente y su intensidad. Cuanto mayor resistencia, menos electrones logran desplazarse. Cuanto mayor voltaje, más electrones consiguen moverse.

$$I=V/R$$

Esa energía que hay que emplear en vencer la resistencia, se pierde ... en forma de calor. Cuanto mayor es la resistencia a vencer mucho mayor es la cantidad de calor que se origina. De tal manera que el calor producido por el paso de una corriente eléctrica es proporcional a la cantidad de electrones que se desplazan (intensidad) y al cuadrado de la dificultad ofrecida por el conductor (resistencia).

$$Q \approx IR^2$$

## Variedades

Existen dos tipos de corriente eléctrica, atendiendo al sentido de desplazamiento de los electrones. En la **corriente continua**, éstos mantienen fijo el sentido de desplazamiento (en general, la aportada por pilas o baterías). En cambio, en la **corriente alterna**, el sentido de avance de los electrones oscila constantemente, con una frecuencia determinada, que depende del equipo que produce la electricidad: el alternador. En Europa existe el acuerdo de producir electricidad que oscila a 50 Hz, mientras que en América se utiliza a 60 Hz.

Otra clasificación de uso habitual se fija en el voltaje, distinguiéndose baja y alta tensión. La **alta tensión** se utiliza principalmente para el transporte de la electricidad, ya que reduce las pérdidas. En cambio, para el uso de la misma, se reduce el voltaje a niveles menos peligrosos (aunque se pierde eficiencia) y se conoce como **baja tensión**. En ambientes industriales es habitual trabajar con 360v, mientras que en el resto de aplicaciones se utilizan 220v (Europa) o 110v (América). Por supuesto que también se utilizan (sobre todo en equipos electrónicos) voltajes mucho menores (24v, 12v, 5v) con los que es mucho más difícil que se produzcan traumatismos.

## Patogenia

En este apartado vamos a comentar los diferentes mecanismos por los que se producen los traumatismos eléctricos, los medios disponibles para prevenirlos, así como los factores que modulan el daño producido por la electricidad en nuestro organismo.

## Variedades de accidentes eléctricos

No es habitual que la electricidad atraviese nuestro cuerpo; de hecho, la piel es un buen aislante frente a la electricidad. Sin embargo, hay tres mecanismos por los cuales accidentalmente una corriente eléctrica puede atravesar una zona de nuestro cuerpo.

En primer lugar, el **contacto directo** accidental con un cable eléctrico (u otro conductor en contacto con un cable eléctrico) puede hacer que la corriente eléctrica supere el aislamiento que supone nuestra piel. El contacto con uno de los cables permite que la corriente nos atraviese y cierre el circuito con el suelo o la pared (una *derivación a tierra*), si no estamos aislados de ellos; esto ocurre si estamos tocando con la piel la pared o nuestro calzado no aísla lo suficiente. Este tipo de accidente es muy común cuando un cable pierde el aislamiento y contacta con el chasis de un aparato (cualquier electrodoméstico, por ejemplo); al tocar nosotros el chasis, recibimos el calambrazo.

También puede ocurrir que contactemos con los dos cables de una línea eléctrica (introducir accidentalmente los dedos en un enchufe, mordisquear un cable, etc) cerrando así el circuito (un *cortocircuito*).

Un segundo mecanismo es lo que se conoce como **arco voltaico**. El aire es muy mal conductor, aunque su capacidad de conducir la electricidad aumenta con la humedad y el calor. De todas formas, si uno se sitúa demasiado cerca de una línea eléctrica, la corriente puede “saltar” a través del aire (lo que produce una gran luz y calor) y cerrar el circuito a través de una zona de nuestro cuerpo. Se considera que, en condiciones normales, una corriente de 10.000v es capaz de “saltar” una pulgada.

El tercer tipo de accidente eléctrico se conoce como **fulguración**, y consiste en ser alcanzado por un rayo.

## Mecanismos de protección

Dado que la corriente eléctrica está presente en todas nuestras actividades, es imperativo disponer de medidas que impidan o dificulten los accidentes eléctricos, o, al menos, que reduzcan su capacidad de producir daño.

La protección más básica en un circuito eléctrico es el **fusible**: una pequeña zona intercalada en el circuito que pueda fundirse si pasa una cantidad excesiva de corriente eléctrica, interrumpiendo así el circuito. En realidad estos dispositivos protegen el circuito frente a una sobrecarga que pudiera originar un incendio, aunque en caso de accidentes por “cortocircuito” también aportan una reducción del daño. Una variante de este dispositivo es el interruptor **magnetotérmico** (conocido coloquialmente como “automático”), que ante un exceso de intensidad en el circuito una pieza se calienta, lo que hace que se dilate y se abra el circuito.

Para evitar los accidentes por derivación a tierra, se dispone de dos medidas. Una de ellas es añadir en los circuitos un cable conectado literalmente a la tierra (una piqueta metálica clavada profundamente en la tierra), que se conoce como **“toma de tierra”**. El chasis de los aparatos se conecta mediante un cable a esa toma de tierra; de esta forma, si accidentalmente el chasis recibe corriente eléctrica, ésta se derivará más fácil por el cable que a través de una persona, evitando así el posible accidente.

Otra medida de protección en este mismo ámbito son unos dispositivos denominados **diferenciales**. Estos aparatos cuando detectan un “desequilibrio” entre los dos brazos del circuito (lo que ocurre cuando uno de ellos se conecta accidentalmente a tierra) abren el circuito. Los hay de distinto umbral de sensibilidad y con distinto tiempo de retardo en la respuesta.

## Factores moduladores de la lesión

Son muchos los aspectos que influyen en el tipo y gravedad de las lesiones producidas por un accidente eléctrico.

En primer lugar hay que considerar **el voltaje de la corriente**. En los accidentes domésticos, con baja tensión, se produce siempre un fuerte dolor, que puede acompañarse o no de pequeñas quemaduras; especialmente en las mucosas. Puede provocar tetanización muscular, que si afecta al corazón y/o al diafragma dará lugar a una parada cardio-respiratoria. En los accidentes con alta tensión se producen importantes quemaduras e incluso volatilización de tejidos, a parte de que pueda acontecer también una parada cardio-respiratoria.

Pero, independientemente del voltaje, para que se produzca la lesión debe de haber una cantidad de electrones suficiente; es decir, un mínimo de **intensidad** de corriente. No importa la “fuerza” que tenga la corriente (voltaje), que si no alcanza 1,1 mA nuestro organismo ni siquiera lo percibe (es el *umbral de sensibilidad*). Sólo a partir de 9 mA se producen contracciones de fibras musculares al paso de la corriente; y es a partir de un mínimo de 60-90 mA cuando puede inducir una fibrilación.

Por supuesto que también influye el tercer elemento de la ecuación básica que explica el comportamiento de la electricidad: la **resistencia**. Es máxima en la piel, pero se reduce drásticamente si se humedece (por contacto con líquidos o por el simple sudor), facilitando así la entrada de la electricidad y sus consecuencias lesivas. Por eso mismo, los accidentes eléctricos que interesan mucosas producen siempre mayores lesiones.

Cuando la electricidad atraviesa nuestro cuerpo, lo hace siempre siguiendo el **trayecto** que menor resistencia ofrece (habitualmente el más corto) y a través de aquellos tejidos que mejor conducen la electricidad: los vasos (por su contenido líquido) y los músculos y nervios (diseñados para transmitir impulsos eléctricos).

El **tipo de corriente** eléctrica también influye, ya que la corriente alterna es más tetanizante que la continua.

Por último, influye mucho la **duración** del paso de la corriente. Cuando más prolongada la exposición mayores y más letales los efectos que produce. Así, un accidente doméstico con 220v puede ser mortal si la corriente atraviesa el corazón y diafragma y la exposición se prolonga unos cuantos segundos. En cambio, hay personas que han sobrevivido a contactos muy breves con cables de alta tensión. En general, la duración del accidente eléctrico depende básicamente de los mecanismos de protección (un diferencial responde en milisegundos) y del propio conductor que puede volatilizarse ante el paso de una gran intensidad de corriente.

## Anatomía patológica

La lesión más frecuente en los accidentes eléctricos es la quemadura eléctrica, pero también hay que considerar la fibrilación ventricular y la tetanización del diafragma (electrocución), así como otras lesiones que pueden originarse de manera colateral (fracturas, quemaduras térmicas, etc).

### Quemaduras eléctricas

Se denominan así las necrosis producidas como consecuencia de la electricidad. Se producen por la suma de dos efectos diferentes. En primer lugar, el paso de la corriente por un mal conductor (como es nuestro cuerpo) origina una elevada producción de calor que produce necrosis directa de los tejidos. Pero además, a su paso por los vasos sanguíneos daña los endotelios (lo que puede originar trombosis posteriormente) y la capa media (disminuyendo su resistencia lo que puede terminar originando hemorragias secundarias). Las zonas que por trombosis o por hemorragia quedan privadas de aporte sanguíneo adecuado, terminaran por necrosarse, incrementando así la dimensión y profundidad de la quemadura eléctrica.



En el caso concreto de la **piel**, se producen tres tipos diferentes de lesiones. En primer lugar consideraremos unas pequeñas escaras de 1 a 5 milímetros de diámetro, que coinciden con los puntos exactos por donde penetró o salió la electricidad. Se denominan **marcas eléctricas**. Hay que tener en cuenta que la resistencia de la piel no es idéntica en toda su superficie, tanto por sus diferentes espesores, como por su diferente grado de humedad; pero, además, el contacto que hace con la ropa o calzado tampoco es uniforme, lo que también induce variaciones en la resistencia. Por eso es habitual que sean unos pocos puntos concretos los lugares de penetración o salida de la corriente. Otra lesión que puede verse es una especie de manchas en la piel, que se denominan **metalizaciones**, y que se corresponden con fragmentos de conductor que en el momento del accidente se volatilizan, atraviesan en estado gaseoso la piel, y se solidifican de nuevo al enfriarse ya en el tejido; quedan así como auténticos tatuajes. Por último están las **quemaduras eléctricas** que se presentan como zonas de necrosis más o menos extensas, o incluso como pérdidas de sustancia.



En los **nervios periféricos** se pueden producir destrucciones completas de la o las fibras nerviosas, sin que necesariamente se afecten los tejidos blandos inervados por ellas. Pero también puede producirse la pérdida o destrucción de las vainas de mielina, sin daño irreversible de la fibra nerviosa. En este segundo caso, la parálisis y/o anestesia será sólo transitoria, restaurándose la normalidad tras regenerarse la mielina.



### Electrocución

Se denomina electrocución a la parada cardio-respiratoria producida por un accidente eléctrico. Puede originarse por una fibrilación ventricular que al inducir un fallo cardíaco termina por provocar un paro también respiratorio. O puede ocurrir al revés: la tetanización de los músculos respiratorios origina una anoxia que culmina en un paro cardíaco.

Por tratarse de paros que no tienen un sustrato patológico en su origen, si se revierten con rapidez suelen tener un evolución satisfactoria.

### Otras lesiones

Como comentábamos al inicio de este apartado, en un accidente eléctrico no es infrecuente que se presenten otras lesiones que pudiéramos considerar como secundarios al accidente mismo.

En primer lugar consideremos las fracturas. El paso de la corriente eléctrica por el músculo induce la excitación del mismo, que responde con una contracción intensa. Al tratarse de estímulos desproporcionados, la respuesta también lo es, y puede llegar a provocar el arrancamiento de la zona de hueso en que inserta el músculo. Por otra parte, la contracción descoordinada de la musculatura en ocasiones da lugar a pérdidas de equilibrio, con la consiguiente caída en la que se producen fracturas.

Tampoco es infrecuente que, como consecuencia del accidente eléctrico se originen incendios que al afectar al accidentado, le originen –además– quemaduras térmicas y afectación de la vía aérea.

## Clínica

Como ocurre en todos los traumatismos, hay que considerar las manifestaciones locales del traumatismo, y la clínica general que puede derivarse de aquél.

### Clínica general

Evidentemente, hay que considerar aquí la electrocución; es decir, la parada cardio-respiratoria, cuyas manifestaciones clínicas son las mismas que las de cualquier otro paro cardíaco, y se detallan en el capítulo correspondiente.

Pero debemos señalar, que son pacientes con una gran propensión a desarrollar también cuadros de insuficiencia circulatoria aguda, o shock, de origen multifactorial. Además, por el componente de destrucción celular que suponen las quemaduras, tienen una gran tendencia a complicarse con bloqueos renales, o insuficiencia renal aguda.

Por último, no son infrecuentes los cuadros neurológicos de diferente localización e intensidad.

### Clínica local

Como hemos comentado, a nivel cutáneo podremos observar las marcas eléctricas, metalizaciones y –sobre todo– las quemaduras eléctricas. Estas son en parte similares a las quemaduras térmicas, ya estudiadas, pero tienen unas peculiaridades muy importantes que hemos de destacar. Por su naturaleza, las quemaduras térmicas pierden intensidad a medida que profundizan en los tejidos, cosa que no ocurre con la corriente eléctrica que va originando el calor allá por donde pasa. Además, la profundidad de las quemaduras eléctricas es muy irregular, ya que no discurre por igual por todos los tejidos.

Además, en el caso de las térmicas, una vez separado el paciente de la fuente de calor, la lesión ya no progresa. En cambio, en las eléctricas, por las lesiones de los vasos, siguen desarrollándose lesiones horas después de haber cesado la agresión eléctrica.

Por tanto, las quemaduras eléctricas tienden a ser más profundas e irregulares, y progresan durante las primeras horas tras el accidente.

La existencia de otras lesiones asociadas condicionará la correspondiente clínica: fracturas, quemaduras térmicas, síndrome de inhalación de humo, etc.

## Tratamiento

Como es evidente, la primera medida es separar al accidentado de la corriente eléctrica. Para ello nunca debe de agarrarse a la víctima para tirar de

ella, ya que es muy fácil resultar afectado por la corriente, con tetanización de nuestra musculatura flexora, quedándonos “pegados” a la víctima que pretendíamos socorrer.

Una vez que el accidentado pierde el contacto con la electricidad, hay que comprobar si mantiene la función cardíaca y respiratoria. En caso afirmativo, deberemos explorarlo con detenimiento para hacer un balance de sus lesiones.

### Tratamiento general

Si ha habido electrocución, deben instaurarse de inmediato las maniobras de reanimación cardiopulmonar. Si el episodio ha sido de muy corta duración, lo normal es que la resucitación sea estable. En caso contrario, la acidosis producida por la anoxia puede reproducir el paro. Por eso es importante, en cuanto sea posible, instaurar una vía venosa para administración de líquidos y fármacos que corrijan la acidosis.

### Tratamiento local

Con respecto a las quemaduras, lo más común es recurrir a una **cura oclusiva**. Tras limpiar adecuadamente la herida, se cubre y se espera a que se delimite definitivamente el alcance de la quemadura. Posteriormente se realiza el desbridamiento de aquellas zonas claramente necróticas, manteniendo la limpieza de la herida y dejando que cure por segunda intención.

La razón de este enfoque conservador en el manejo de la herida es que, debido a lo irregular de profundidad, resulta muy difícil eliminar el tejido necrosado en profundidad sin dañar innecesariamente tejido sano. Además, estos desbridamientos son muy cruentos y se acompañan de importantes pérdidas de sangre. Por eso, el **desbridamiento inmediato**, seguido de una segunda intervención 48 o 72 horas después para completar el desbridamiento y practicar una reparación plástica es algo que sólo debe realizarse en centros especializados.

Por supuesto que existe un tercer planteamiento en el tratamiento quirúrgico de estas quemaduras, que es la **amputación**, cuando el tejido que puede conservarse es insuficiente para preservar la zona.



### Bibliografía

- Abbas AD, Dabkana TM, Tahir C, et al. High-tension Electrical Burns: Report of Two Cases. *Ann Burns & Fire Disasters* 2009; 22(3): 160-2.
- Ashraf A, Mohammadi A, Roshanzamir S, et al. Sympathetic skin response in electrical burn injury. *Burns* 2011; 38(2): 232-5.
- Belba G, Isaraj S, Kola N, et al. Electrical burns. *Ann Burns & Fire Disasters* 2007; 20(1): 44-5.
- Benlier E, Eskiocak S, Puyan FO, et al. Effect of lidocaine on reducing injury in a rat electrical burn model. *An Plastic Surg* 2012; 69(2): 152-6.
- Hsiao YCh, Yang J-Y, Chang Ch-J, et al. Flow-through anterolateral thigh flap for reconstruction in electrical burns of the severely damaged upper extremity. *Burns* 2012; 39(3): 515-21.

- Kim H-D, Hwang S-M, Lim K-R, et al. Toe Tissue Transfer for Reconstruction of Damaged Digits due to Electrical Burns. *Arch Plastic Surg* 2012; 39(2): 138-42.
- Kingsly-Paul M, Dhanraj P, Gupta A. Recovery after spinal cord injury due to high tension electrical burns: a 5-year experience. *Burns* 2008; 34(6): 888-90.
- Krisht KM, Chamoun R, Couldwell WT. Supraclinoid internal carotid artery-inferior petrosal sinus arteriovenous fistula after high-voltage electrical burn injury. *J Clin Neuroscience* 2013; 20(7): 1036-8.
- Lee GK, Suh KJ, Kang IW, et al. MR imaging findings of high-voltage electrical burns in the upper extremities: correlation with angiographic findings. *Acta Radiologica* 1987; 52(2): 198-203.
- Ligen L, Hongming Y, Feng L, et al. Magnetic resonance imaging features of soft tissue and vascular injuries after high-voltage electrical burns and their clinical application. *Injury* 2012; 43(9): 1445-50.
- Liu H Y, Zhang MQ, Wang RX et al. Experiences in the treatment of electrical burns covering deep wounds with various tissue flaps. *Acta chirurgiae plasticae* 1989; 31(4): 209-25.
- Luz DP, Millan LS, Alessi MS, et al. Electrical burns: a retrospective analysis across a 5-year period. *Burns* 2009; 35(7): 1015-9.
- Mangelsdorff G, Garcia-Huidobro MA, Nachari I, et al. La quemadura eléctrica por alto voltaje es un factor predictor de mortalidad en pacientes "grandes quemados". *Revista Médica de Chile* 2011; 139(2): 177-81.
- Mejjati H, Tourabi K, Arrob A, et al. Difficulties in treating high-voltage electrical burns: considerations on a case. *An Burns & Fire Disasters* 2010; 23(4): 214-5.
- Mohammadi AA, Amini M, Mehrabani D, et al. A survey on 30 months electrical burns in Shiraz University of Medical Sciences Burn Hospital. *Burns* 2008; 34(1): 111-3.
- Ogilvie MP, Panthaki ZJ. Electrical burns of the upper extremity in the pediatric population. *J Craniofacial Surg* 2008; 19(4): 1040-6.
- Ruan Q-F, Xie W-G, Wen F-P. Change in expression of vascular endothelial growth factor in serum and wound tissue of rats with electrical burns. *Chinese Journal of Burns* 2012; 28(6): 423-7.
- Talbot SG, Upton J, Driscoll DN. Changing trends in pediatric upper extremity electrical burns. *Hand (New York)* 2011; 6(4): 394-8.
- Tiengo C, Castagnetti M, Garolla A, et al. High-voltage electrical burn of the genitalia, perineum, and upper extremities: the importance of a multidisciplinary approach. *J Burn Care & Res* 2011; 32(6): e168-71.
- Yeroshalmi F, Sidoti EJ Jr, Adamo AK, et al. Oral electrical burns in children-a model of multidisciplinary care. *J Burn Care Res* 2011; 32(2): e25-30.