



CURSO REGIONAL DE CAPACITACION

SOBRE LA PRACTICA DE LA

RADIOFARMACIA HOSPITALARIA

O.I.E.A. - UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

MONTEVIDEO - URUGUAY

13 DE JUNIO - 1 DE JULIO 1994

**INTERACCION DE LAS RADIACIONES
IONIZANTES CON LA MATERIA**

Quím. W. Calisto
Centro de Investigaciones Nucleares
Facultad de Ciencias

Reproducción de Material Gráfico - Gentileza de Xerox Uruguay S.A.

INTRODUCCION.

LAS RADIACIONES IONIZANTES, COMO SU NOMBRE LO INDICA, SON AQUELLAS QUE TIENEN LA POSIBILIDAD DE PRODUCIR IONIZACIONES EN EL MEDIO MATERIAL QUE ATRAVIESAN.

LA IONIZACION A NIVEL ATOMICO SABEMOS QUE CONSISTE EN LA PERDIDA DE UNO O MAS ELECTRONES PERTENECIENTES A LA ESTRUCTURA DE ORBITALES ELECTRONICOS QUE RODEAN A LOS NUCLEOS ATOMICOS.

COMO CONSECUENCIA DE ESTO DECIMOS QUE UN ATOMO IONIZADO QUE HA PERDIDO ELECTRONES ES UN ION POSITIVO.

DE IGUAL FORMA LOS ELECTRONES DESPRENDIDOS EN LA INTERACCION PUEDEN SER ATRAPADOS POR ATOMOS NEUTROS ELECTRICAMENTE PASANDO A CONSTITUIRSE EN IONES NEGATIVOS.

RESPECTO A LAS RADIACIONES INTERACCIONANTES PODEMOS RECONOCER LAS DIRECTAMENTE IONIZANTES(PARTICULAS QUE TIENEN CARGAS ELECTRICAS, EJ. ELECTRONES) E INDIRECTAMENTE IONIZANTES(NO TIENEN CARGAS ELECTRICAS, EJ. FOTONES).

EL FENOMENO DE LA IONIZACION ES DE VITAL IMPORTANCIA PARA RECONOCER NO SOLO LA PRESENCIA DE ESTAS RADIACIONES (DETECCION), SINO TAMBIEN A TENER MUY EN CUENTA A LA HORA DE SU APLICACION EN EL AREA MEDICA(DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO).

Y COMO DERIVACION DE ESTE ULTIMO ASPECTO, ES UN FACTOR CLAVE A TENER EN CUENTA DENTRO DEL CAMPO DE LA PROTECCION RADIOLOGICA.

INTERACCION DE LOS ELECTRONES CON LA MATERIA.

L
LOS ELECTRONES (NEGATIVOS Y POSITIVOS) A MEDIDA QUE AVANZAN POR EL MEDIO MATERIAL QUE SE INTERPONE EN SU TRAYECTORIA VAN PERDIENDO ENERGIA CINETICA (PIERDEN VELOCIDAD).

LA CAUSA DE ESTA PERDIDA SE CENTRA EN LA INTERACCION DE SU CAMPO ELECTRICO CON EL DE OTRAS PARTICULAS PRESENTES EN SU CAMINO (ELECTRONES, NUCLEOS ATOMICOS).

TENIENDO PRESENTE LAS CARACTERISTICAS DE LOS "BLANCOS" QUE IMPACTAN LOS ELECTRONES ES POSIBLE HABLAR DE "DISPERSION" Y DE "COLISION".

DISPERSION.

SE REFIERE EN ESPECIAL A CAMBIOS EN LA TRAYECTORIA INICIAL DE LAS PARTICULAS CON VARIACIONES DESPRECIABLES EN SU ENERGIA CINETICA.

COLISION.

EN ESTE CASO EXISTE UN CAMBIO EN LA ENERGIA CINETICA.

DISPERSION DE ELECTRONES.

EN ESTE ENTORNO RECONOCEMOS "CHOQUES" ELASTICOS CON LOS ELECTRONES ATOMICOS Y CHOQUES ELASTICOS CON LOS NUCLEOS.

EN ESTE ULTIMO CASO Y DEBIDO A LA DIFERENCIA ENORME DE MASAS ENTRE EL ELECTRON Y UN NUCLEO, SE PRODUCE UNA "RETRODISPERSION", EL ELECTRON PRACTICAMENTE REBOTA EN ANGULOS MAYORES DE 90° RESPECTO A SU TRAYECTORIA INICIAL.

ESTE FENOMENO AUMENTA AL AUMENTAR EL NUMERO ATOMICO, "Z", DEL MATERIAL ATRAVESADO, Y AL DISMINUIR LA VELOCIDAD DE LOS ELECTRONES "PROYECTILES".

COLISION DE ELECTRONES.

LAS PERDIDAS DE ENERGIA POR COLISIONES NO-ELASTICAS CON OTROS ELECTRONES O CON NUCLEOS CONSTITUYEN LA MEDULA

DE LA PROBLEMATICA FUNDAMENTAL A TENER PRESENTE EN LA MAYORIA DE LAS INTERACCIONES QUE MAS NOS AFECTAN.

COLISIONES INELASTICAS CON ELECTRONES ORBITALES.

EL RESULTADO DE UNA INTERACCION DE ESTA NATURALEZA ES LA IONIZACION DEL ATOMO AFECTADO.

LA PERDIDA DE ENERGIA POR ESTA RAZON LA PODEMOS EXPRESAR COMO: $dE/dx = w I$. SIENDO EL PRIMER MIEMBRO LA PERDIDA DE ENERGIA POR UNIDAD DE LONGITUD. w LA PERDIDA DE ENERGIA POR PAR IONICO FORMADO. I LA IONIZACION ESPECIFICA (COLISIONES POR UNIDAD DE LONGITUD QUE FORMEN PARES IONICOS).

POR EJEMPLO, w PARA AIRE ES DE 34 eV.

COLISIONES INELASTICAS CON NUCLEOS.

EN ESTE CASO LA TRAYECTORIA DEL ELECTRON "PROYECTIL" SE DESVIA POR EFECTO DEL INTENSO CAMPO ELECTRICO NUCLEAR. COMO LA DIFERENCIA DE MASAS ES MUY GRANDE LA TRANSFERENCIA DE ENERGIA CINETICA ES BAJA, PERO EL HECHO DE LA CURVATURA DE LA TRAYECTORIA GENERA UNA FUERZA CENTRIPETA. EN ESTAS CONDICIONES UNA PARTICULA CARGADA EMITE RADIACION ELECTROMAGNETICA. POR LO TANTO PIERDE ENERGIA CINETICA POR ESTE CONCEPTO. ESTA RADIACION DE "FRENADO" O "BREMSSTRAHLUNG" ESTA FORMADA POR FOTONES DE UNA AMPLIA GAMA DE ENERGIAS SEGUN LAS CARACTERISTICAS DEL "FRENADO". (MAS O MENOS INTENSO). SE CONSIDERA PROPORCIONAL A LA ENERGIA DE LOS ELECTRONES, A Z^2 Y A LA DENSIDAD DEL MATERIAL. ESTE TIPO DE INTERACCION ADQUIERE RELEVANCIA FRENTE A LA IONIZACION A ENERGIAS MUY ELEVADAS, COSA QUE NO ES LO HABITUAL.

CONSIDERACIONES RESPECTO A LA RADIACION ELECTRONICA EN CONJUNTO.

AL REALIZAR OBSERVACIONES DE LABORATORIO EN ESCALA "MACRO" TENIENDO EN CUENTA EL ORIGEN DE LOS ELECTRONES, LAS CARACTERISTICAS DE "ABSORCION" HACIA ELLAS DE PARTE DE LA MATERIA ATRAVESADA SON DIFERENTES.

ELECTRONES MONOENERGETICOS.

POR EJEMPLO ELECTRONES DE CONVERSION INTERNA. EN ESTE CASO LA ABSORCION SE DA GRADUALMENTE CASI TENIENDO A UNA "MESETA" HASTA LA ELIMINACION TOTAL (NO ES UNA MESETA COMO CON LA RADIACION ALFA DEBIDO A SU PEQUENA MASA Y FACIL DISPERSION).

ELECTRONES DE ESPECTRO DE ENERGIA CONTINUO.

NOS REFERIMOS AQUI POR EJEMPLO A LOS RAYOS BETA. EN ESTE CASO Y POR CONSIDERACIONES ESTADISTICAS, LA CURVA QUE IDENTIFICA SU INTERACCION CON LA MATERIA (Y DESAPARICION DEL HAZ DE RADIACION PRINCIPAL) ES EXPONENCIAL.

$I = I_0 e^{-\mu x}$. DONDE I ES LA ACTIVIDAD DESPUES DE ATRAVESAR EL MEDIO, I_0 LA ACTIVIDAD ANTES. μ LA PROBABILIDAD DE INTERACCION DEL HAZ EN SU RECORRIDO POR LA MUESTRA DE ESPESOR x .

ELECTRONES POSITIVOS (POSITRONES).

ADEMAS DE LAS CONSIDERACIONES EXPUESTAS PARA LOS ELECTRONES NEGATIVOS DEBE TENERSE EN CUENTA QUE ESTOS ELECTRONES SON "ANTIMATERIA". ES DECIR LA "ANTIPARTICULA" DE LOS ELECTRONES NEGATIVOS.

COMO RESULTADO, TARDE O TEMPRANO INTERACCIONARAN FRONTALMENTE UNA PARTICULA Y UNA ANTIPARTICULA ANIQUILANDOSE.

COMO SE SABE EN SU LUGAR SE GENERAN DOS FOTONES DE 0.511 MeV.

CONSIDERACIONES RESPECTO AL ALCANCE Y TRAYECTORIA DE LOS ELECTRONES.

LAS TRAYECTORIAS SEGUIDAS POR LOS ELECTRONES SON LINEAS QUEBRADAS DEBIDO A TRANSFERENCIAS DE ENERGIA EN DETERMINADAS PARTES QUE HACEN ALTERAR RAPIDAMENTE SU CAMINO. DE NO SER ASI SERIAN RECTILINEAS COMO CON LOS RAYOS ALFAS. ESTO ULTIMO INDICA ADEMAS QUE LA PEQUENA MASA DE LOS ELECTRONES FAVORECE ESA TRAYECTORIA "ERRATICA".

LA INTERACCION SE DA HASTA QUE LA ENERGIA CINETICA DEL ELECTRON CORRESPONDE A LA DE AGITACION TERMICA DEL MEDIO.

ES DE DESTACAR QUE EN LOS TRAYECTOS FINALES DE SU CAMINO, Y YA CON MENOR VELOCIDAD, LAS PROBABILIDADES DE INTERACCION SON MAYORES, LO QUE SE TRADUCE EN UNA MAYOR DENSIDAD DE PARES IONICOS.

INTERACCION DE LOS FOTONES CON LA MATERIA.

CUANDO UN HAZ DE FOTONES INTERACCIONA CON UN MEDIO MATERIAL SE PRODUCE SU ATENUACION, O DISMINUCION DE SU INTENSIDAD.

ES EVIDENTE QUE PARTE DE ESOS FOTONES O TRANSFIRIERON PARTE O TODA SU ENERGIA, O ALTERARON SU TRAYECTORIA.

EN ESPECIAL LA INTERACCION SE PRODUJO CON LOS ELECTRONES DEL MEDIO QUE ATRAVIESA.

EFEECTO FOTOELECTRICO.

EL FOTON INCIDENTE CEDE TODA SU ENERGIA AL ATOMO AFECTADO, MAS CONCRETAMENTE A UN ELECTRON ORBITAL.

ESTE ELECTRON ADEMAS DE SER "ARRANCADO" DE SU ORBITAL LLEVA CIERTA ENERGIA CINETICA DADA POR:

$$E_c = E - w_i \quad \text{"E" ES LA ENERGIA QUE ENTREGO EL FOTON.}$$

" w_i " ES LA ENERGIA DE LIGADURA DEL ELECTRON CON EL ATOMO AL QUE PERTENECIA.

EN GENERAL EL ELECTRON AFECTADO ES AQUEL EN EL QUE LA ENERGIA "E" ES SIMILAR (O ALGO MAYOR) A " w_i ".

ESTE "HUECO" GENERADO EN ESE ORBITAL ES INMEDIATAMENTE OCUPADO POR ELECTRONES DE OTROS NIVELES A LOS EFECTOS DE ESTABILIZAR AL MAXIMO AL ENTE ATOMICO. ESTO TRAE COMO CONSECUENCIA ENTREGA DE ENERGIA AL MEDIO COMO FOTONES. ESTO PUEDE GENERAR OTROS "HUECOS" QUE A SU VEZ SERAN CUBIERTOS DANDO ASI LUGAR A UNA "AVALANCHA" DE EVENTOS QUE SERAN TENIDOS EN CUENTA EN MAYOR O MENOS MEDIDA A LA HORA DE LAS APLICACIONES PRACTICAS.

JUNTO A ESTA AVALANCHA FOTONICA ES POSIBLE DARSE LA APARICION DE ELECTRONES DESPRENDIDOS DE CAPAS MAS EXTERNAS (EFEECTO FOTOELECTRICO INTERNO), O ELECTRONES "AUGER".

ELLOS SE ENCARGAN DE TRANSFERIR RAPIDAMENTE AL MEDIO SU ENERGIA, YA QUE AL SER BAJA ESTA LAS PROBABILIDADES DE INTERACCION SON SUPERIORES.

EFFECTO COMPTON.

EN ESTE CASO EL FOTON INCIDENTE TRANSFIERE PARTE DE SU ENERGIA AL ELECTRON.

LA ENERGIA SOBRANTE APARECE COMO UN FOTON ALEJANDOSE DE LA ZONA DE IMPACTO EN UN ANGULO ACORDE AL QUE PRESENTA EL ELECTRON AFECTADO (POR CONSIDERACIONES FISICAS DE CONSERVACION DE ENERGIA Y CANTIDAD DE MOVIMIENTO).

LAS ENERGIAS ADQUIRIDAS POR LOS ELECTRONES INVOLUCRADOS PRESENTAN UN AMPLIO ESPECTRO (CONTINUO).

SE ASEMEJAN EN ESTE SENTIDO A LOS RAYOS BETA.

RESPECTO A LA DISTRIBUCION DE ENERGIAS MAS FRECUENTE, ES CORRESPONDE A LA ENERGIA DEL FOTON PRYECTIL.

PARA ENERGIAS RELATIVAMENTE BAJAS SE LLEVA MAYOR ENERGIA EL FOTON DISPERSADO QUE EL ELECTRON.

A ENERGIAS SUPERIORES (EJ. 1 MeV O MAS) SE IGUALAN LOS VALORES Y TERMINAN INVIRTIENDOSE LAS TENDENCIAS.

FORMACION DE PARES. (MATERIALIZACION).

CUANDO UN FOTON DE SUFICIENTE ENERGIA INTERACCIONA CON EL INTENSO CAMPO NUCLEAR EXISTE LA PROBABILIDAD DE FORMACION DE DOS ELECTRONES (UNO POSITIVO Y OTRO NEGATIVO).

ES EVIDENTE QUE EL GRUESO DE ENERGIA SALE DEL FOTON INCIDENTE, POR LO TANTO SU ENERGIA DEBE EQUIVALER A POR LO MENOS DOS MASAS ELECTRONICAS.

POR ENCIMA DE ESTE VALOR LOS ELECTRONES ADQUIEREN UNA ENERGIA CINETICA EQUIVALENTE AL EXCESO POR ENCIMA DE ESAS DOS MASAS (1,02 MeV).

LOS PROCESOS QUE SIGUEN SON LOS YA ESBOZADOS, INCLUYENDO LA ANTIQUILACION DEL POSITRON Y LA GENERACION DE DOS FOTONES DE 0.511 MeV.

CONSIDERACIONES SOBRE LA INTERACCION FOTONICA

CONSIDERADO EN SU CONJUNTO EL HAZ DE FOTONES, Y QUE SUCEDE AL ATRAVESAR UN MEDIO MATERIAL, ES DE DESTACAR QUE SE PRODUCE UNA ATENUACION DE LA INTENSIDAD DEL MISMO.

POR CONSIDERACIONES ESTADISTICAS ESA ATENUACION ES EXPONENCIAL Y EN LA CUAL SE INVOLUCRAN LOS TRES EFECTOS PRINCIPALES MENCIONADOS (FOTOELECTRICO, COMPTON Y FORMACION DE PARES).

$$dE/dx = \tau N - \sigma N - \pi N$$

DONDE τ PROBABILIDAD DEL EFECTO FOTOELECTRICO, σ PROBABILIDAD COMPTON Y π PROBABILIDAD DE INTERACCION POR MATERIALIZACION.

A LOS EFECTOS DE APLICACIONES HABITUALES DE LAS RADIACIONES ES EVIDENTE QUE LA INTERACCION PREDOMINANTE ES EL EFECTO COMPTON.

ES DECIR ENERGIAS MEDIAS. RESPECTO A LA ATENUACION TOTAL DE RADIACIONES SECUNDARIAS GENERADAS LOS FOTOELECTRONES Y LOS PARES ELECTRON-POSITRON OCUPAN EL PRIMER LUGAR.

PERO CONSIDERANDO ADEMAS DE ATENUACION, LA DISPERSION ES MUY IMPORTANTE EN EL EFECTO COMPTON.

LAS PROBABILIDADES DE CADA UNA DE LAS POSIBLES INTERACCIONES MENCIONADAS DEPENDE, COMO SE DIJO DE LAS ENERGIAS FOTONICAS, PERO TAMBIEN DEPENDE DE LA DENSIDAD Y EL "Z" DEL MEDIO.

SE DEDUCE TAMBIEN DE ESTAS CONSIDERACIONES QUE PARA LOS FOTONES DE USO HABITUAL Y PARA TEJIDOS BLANDOS, EL EFECTO COMPTON SIGUE PREDOMINANDO.

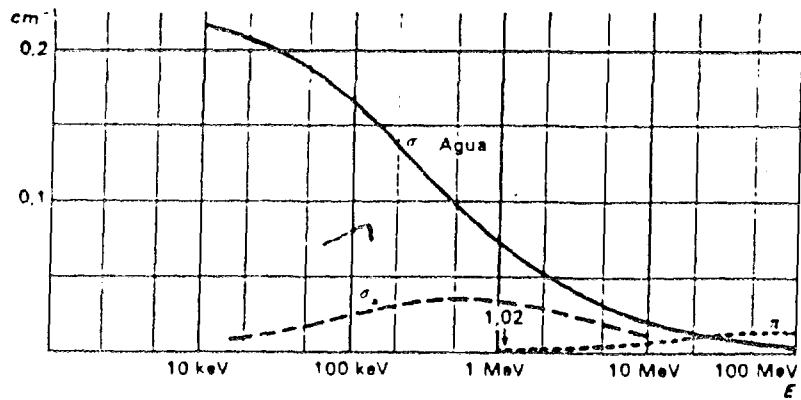


Fig. 15 Variación del coeficiente de atenuación (σ) y del coeficiente de absorción (σ_a) del efecto Compton en función de la energía E de los fotones, en el agua. También se ha representado el coeficiente de materialización π .

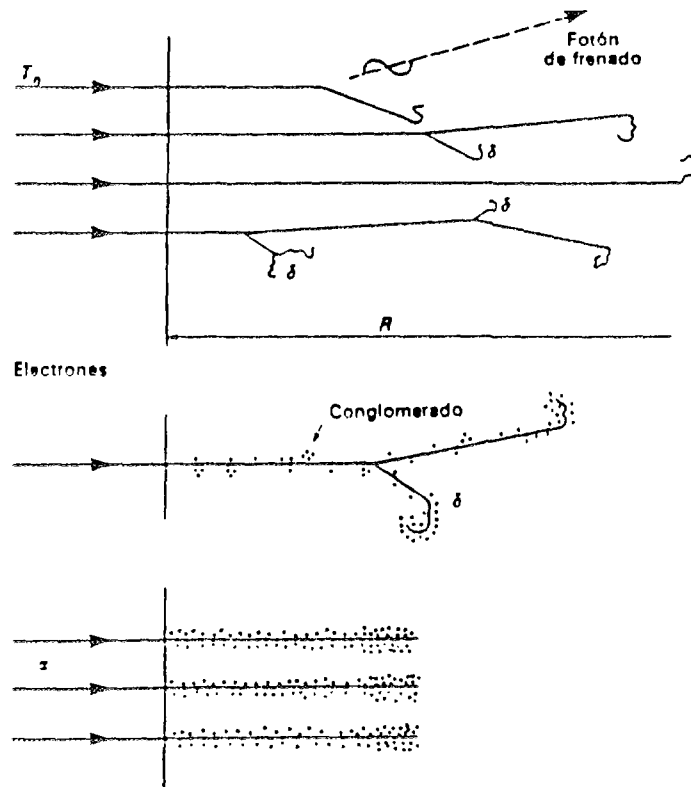


Fig. 12 Trayectorias de los electrones en un medio. (a) Aspecto general de trayectorias; (b) Distribución de las ionizaciones producidas en el medio; (c) comparación, trayectoria de las partículas α . (La densidad de ionización es mu más alta de lo que indica la figura, y la longitud de la trayectoria de las partículas es considerablemente más corta que la de los electrones.)

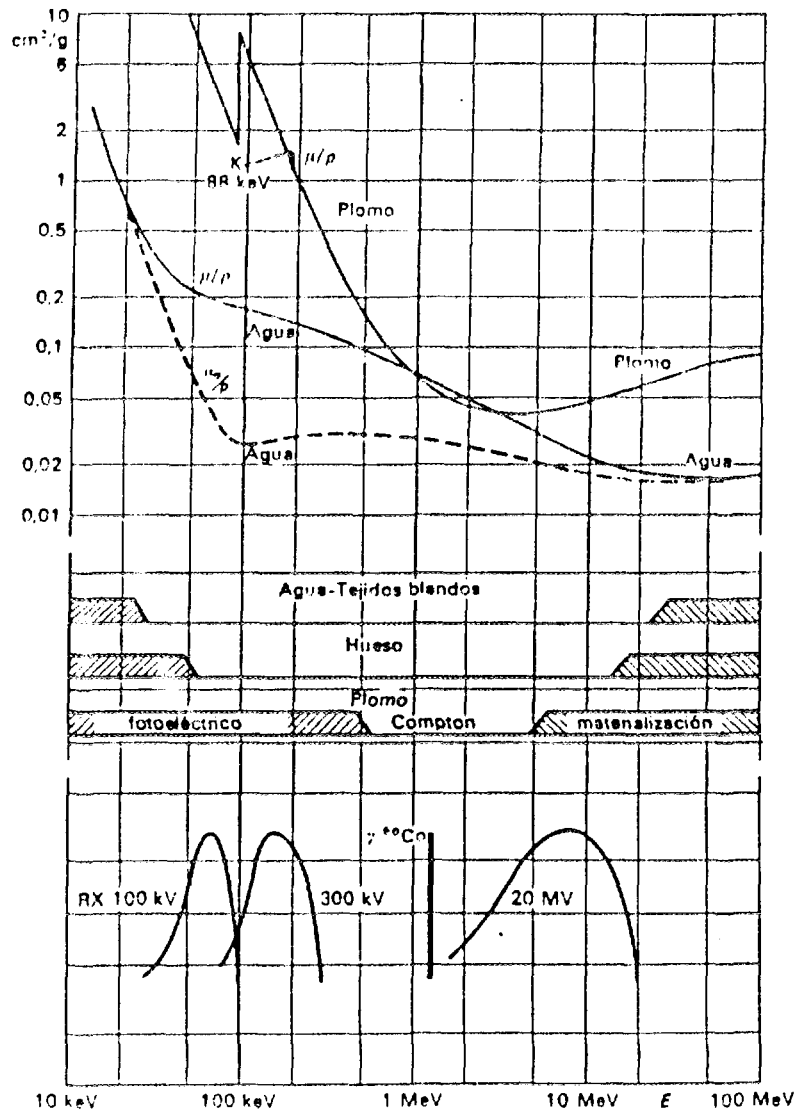


Fig. 17 Coeficiente másico global de atenuación (μ/ρ) en el agua y en el plomo; coeficiente másico global de absorción (μ_a/ρ) en el agua. En la parte central de la figura se indica el intervalo práctico de los diferentes tipos de interacción en el agua, el hueso y el plomo. En la parte inferior se representan esquemáticamente las distribuciones espectrales de algunas radiaciones.

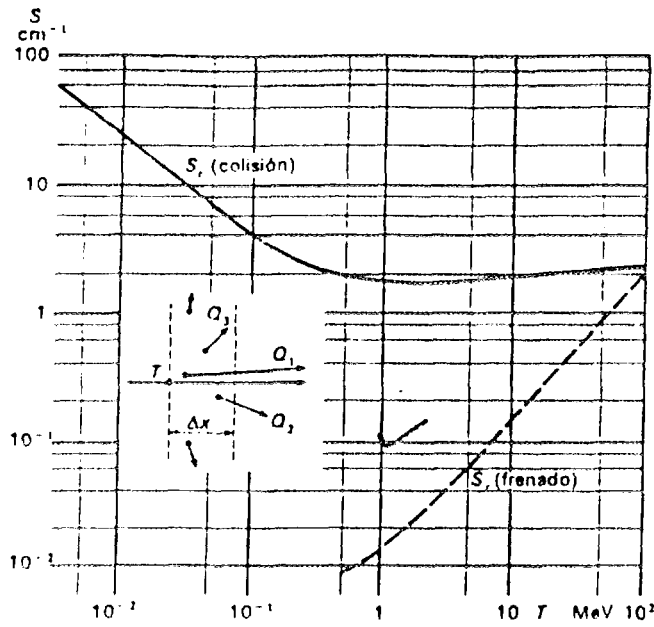


Fig. 10 Variación, en el agua, del poder de parada por colisión y del poder de parada por frenado en función de la energía cinética T de los electrones.

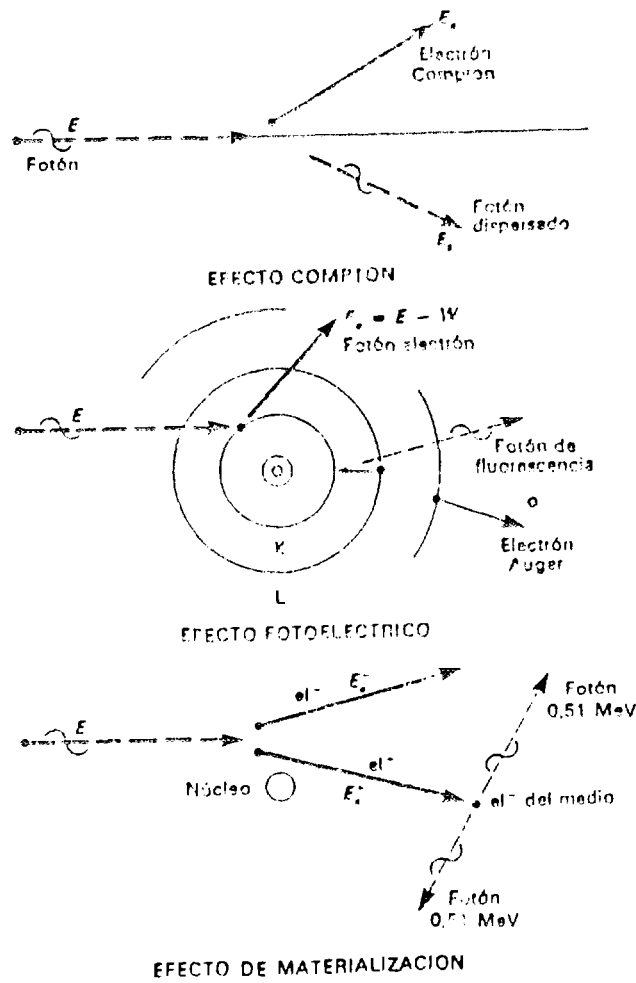


Fig. 13 Interacciones principales entre los fotones y la materia.

