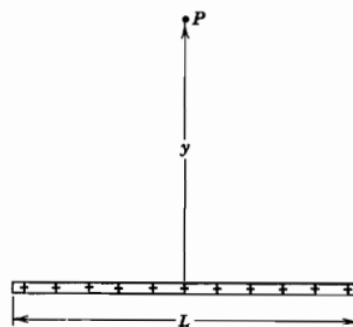


19. ¿Por qué no puede la ecuación 10 representar las líneas de fuerza de la figura 8 si moderamos el requisito de que  $x \gg d$ ?
20. (a) Dos dipolos eléctricos idénticos están situados en una línea recta, como se muestra en la figura 20a. ¿Cuál es la
21. Compare la manera en que  $E$  varía de acuerdo con  $r$  en (a) una carga puntual, (b) un dipolo, y (c) un cuadrupolo.
22. ¿Qué dificultades matemáticas se encontrarían al calcular el campo eléctrico de un anillo (o un disco) cargado en puntos no situados sobre el eje?
23. La ecuación 28 muestra que  $E$  tiene el mismo valor en todos los puntos en frente de una lámina infinita uniformemente cargada. ¿Es esto razonable? Cabría suponer que el campo sería más intenso cerca de la lámina porque las cargas están tan próximas.
24. Describa brevemente cuál era el objetivo del experimento de la gota de aceite de Millikan.
25. ¿Cómo influye en la operación del experimento de Millikan el signo de la carga en la gota de aceite?
26. ¿Por qué Millikan no trató de equilibrar los electrones en su aparato, en lugar de las gotas de aceite?
27. Usted gira a un dipolo eléctrico extremo por extremo en un campo eléctrico uniforme. ¿Cómo depende el trabajo que usted realiza de la orientación inicial del dipolo con respecto al campo?
28. ¿Para qué orientaciones de un dipolo eléctrico en un campo eléctrico uniforme es la energía potencial del dipolo (a) la mayor y (b) la menor?
29. Un dipolo eléctrico está situado en un campo eléctrico no uniforme. ¿Existe una fuerza neta sobre él?
30. Un dipolo eléctrico está situado en reposo en un campo eléctrico externo uniforme, como en la figura 17a, y es liberado. Diga cuál será su movimiento.
31. Un dipolo eléctrico tiene a su momento dipolar  $\mathbf{p}$  alineado con un campo eléctrico externo uniforme  $\mathbf{E}$ . (a) ¿Es el equilibrio estable o inestable? (b) ¿Cuál es la naturaleza del equilibrio si  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{E}$  apuntan en direcciones opuestas?
25. ¿A qué distancia a lo largo del eje de un disco cargado de radio  $R$  es la intensidad del campo eléctrico igual a un medio del valor del campo en la superficie del disco en el centro? ¿El disco en su centro iguala al valor al cual el aire se descompone eléctricamente, produciendo chispas? Véase la tabla 1. (b) Suponga que cada átomo en la superficie tenga un área de sección transversal efectiva de  $0.015 \text{ nm}^2$ . ¿Cuántos átomos están en la superficie del disco? (c) La carga en (a) resulta de alguno de los átomos de la superficie que portan un electrón en exceso. ¿Qué fracción de los átomos de la superficie deben estar cargados así?
29. Abajo se dan los valores medidos del campo eléctrico  $E$  a una distancia  $z$  a lo largo del eje de un disco de plástico cargado:

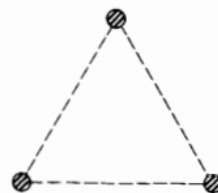
$z$ (cm)	$E$ ( $10^7 \text{ N/C}$ )
0	2.043
1	1.732
2	1.442
3	1.187
4	0.972
5	0.797

31. Una varilla no conductora de longitud finita  $L$  contiene una carga total  $q$ , distribuida uniformemente a lo largo de ella. Demuestre que  $E$  en el punto  $P$  sobre la bisectriz perpendicular en la figura 31 está dado por

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 y} \frac{1}{(L^2 + 4y^2)^{3/2}}.$$



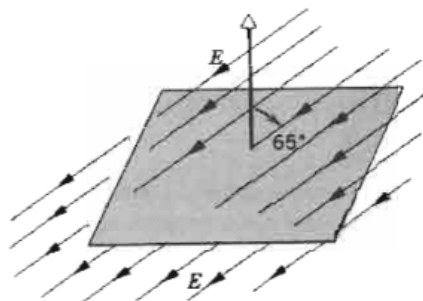
33. Dibuje cualitativamente las líneas de fuerza asociadas con tres líneas de carga largas y paralelas, en un plano perpendicular. Suponga que las intersecciones de las líneas de carga con tal plano forman un triángulo equilátero (Fig. 33) y que cada línea de carga tiene la misma densidad de carga lineal  $\lambda$ .



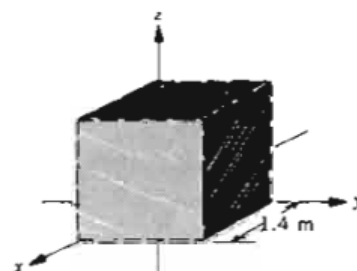
35. Una copa hemisférica no conductora de radio interior  $R$  tiene una carga total  $q$  distribuida uniformemente sobre su superficie interior. Determine el campo eléctrico en el centro de curvatura. (Sugerencia: Considere a la copa como una pila de anillos.)
48. Un dipolo eléctrico, que consta de cargas de  $1.48 \text{ nC}$  de magnitud separadas por  $6.23 \text{ }\mu\text{m}$  se encuentra dentro de un campo eléctrico de  $1100 \text{ N/C}$  de intensidad. (a) ¿Cuál es la magnitud del momento dipolar eléctrico? (b) ¿Cuál es la diferencia de la energía potencial correspondiente a las orientaciones dipolares paralela y antiparalela al campo?
50. Una carga  $q = 3.16 \text{ }\mu\text{C}$  está a  $28.5 \text{ cm}$  de un pequeño dipolo a lo largo de su bisectriz perpendicular. La fuerza sobre la carga es igual a  $5.22 \times 10^{-16} \text{ N}$ . Muestre con ayuda de un diagrama (a) la dirección de la fuerza sobre la carga y (b) la dirección de la fuerza sobre el dipolo. Determine (c) la magnitud de la fuerza sobre el dipolo y (d) el momento dipolar del dipolo.

22. Si una carga  $-q$  está distribuida uniformemente en la superficie de una esfera metálica hueca, aislada y delgada de radio  $a$ , no existirá ningún campo eléctrico dentro. Si ahora se coloca una carga puntual  $+q$  en el centro de la esfera, no habrá tampoco un campo externo. Esta carga puntual puede desplazarse una distancia  $d < a$  del centro, pero eso da al sistema un momento dipolar y crea un campo externo. ¿Cómo explica usted la energía que aparece en este campo externo?
23. ¿Cómo puede ser retirada completamente la carga en exceso de un cuerpo conductor pequeño?
24. Explique por qué la simetría esférica de la figura 5 nos restringe a considerar que  $\mathbf{E}$  tiene sólo una componente radial en cualquier punto. (Sugerencia: Imagine otras componentes, quizás a lo largo del equivalente de las líneas de longitud o latitud de la superficie de la Tierra. La simetría esférica requiere que esto se vea lo mismo desde cualquier perspectiva. ¿Puede usted inventar las líneas de campo que satisfagan a este criterio?)
25. Explique por qué la simetría de la figura 8 nos restringe a considerar que  $\mathbf{E}$  tenga únicamente una componente radial en cualquier punto. En este caso, recuerde que el campo no sólo debe verse igual en cualquier punto a lo largo, sino que debe verse también igual si la figura se gira extremo por extremo.
26. La carga *total* en una barra infinita cargada es infinita. ¿Por qué  $E$  no es también infinito? Después de todo, de acuerdo con la ley de Coulomb, si  $q$  es infinita, también  $E$  lo es.
27. Explique por qué la simetría de la figura 9 nos restringe a considerar que  $\mathbf{E}$  tiene sólo una componente dirigida hacia afuera de la lámina. ¿Por qué, por ejemplo, no podría  $\mathbf{E}$  tener una componente paralela a la lámina? En este caso, recuerde que el campo no sólo debe verse el mismo en cualquier punto a lo largo de la lámina en cualquier dirección, sino que también debe verse el mismo si la lámina se gira alrededor de una línea perpendicular a la lámina.
28. El campo debido a una lámina infinita de carga es uniforme, teniendo la misma intensidad en todos los puntos, sin importar lo lejos que estén de la carga superficial. Explique cómo puede ser esto, dada la naturaleza del inverso de los cuadrados de la ley de Coulomb.
29. Conforme usted penetra en una esfera de carga uniforme,  $E$  debe disminuir puesto que hay menos carga dentro de una esfera dibujada a lo largo del punto de observación. Por otra parte,  $E$  debe aumentar porque usted está más cerca del centro de esta carga. ¿Cuál efecto es dominante, y por qué?
30. Dada una distribución de carga esféricamente simétrica (no de densidad de carga radial y uniforme), ¿es  $E$  necesariamente máxima en la superficie? Comente sobre varias posibilidades.
31. ¿Se mantiene cierta la ecuación 16 para la figura 11a (a) si existe una cavidad esférica concéntrica en el cuerpo, (b) si una carga puntual  $Q$  está en el centro de esta cavidad, y (c) si la carga  $Q$  está dentro de la cavidad pero no en su centro?
32. Un átomo es por lo general *eléctricamente neutro*. Entonces, ¿por qué una partícula alfa sería desviada por el átomo en cualquier circunstancia?

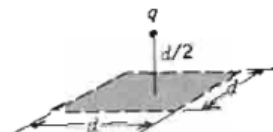
1. La superficie cuadrada que se muestra en la figura 21 mide 3.2 mm en cada lado. Está inmersa en un campo eléctrico uniforme con  $E = 1800 \text{ N/C}$ . Las líneas de campo forman un ángulo de  $65^\circ$  con la normal "apuntando hacia afuera", como se muestra. Calcule el flujo a través de la superficie.



3. Calcule  $\Phi_E$  a través de (a) la base plana y (b) la superficie curva de un hemisferio de radio  $R$ . El campo  $\mathbf{E}$  es uniforme y paralelo al eje del hemisferio, y las líneas de  $\mathbf{E}$  entran



5. Una carga puntual de  $1.84 \mu\text{C}$  está en el centro de una superficie gaussiana cúbica de 55 cm de arista. Halle  $\Phi_E$  a través de la superficie.
7. Una carga puntual  $+q$  está a una distancia  $d/2$  de una superficie cuadrada de lado  $d$  y está directamente arriba del centro del cuadrado como se muestra en la figura 24. Halle el flujo eléctrico a través del cuadrado. (Sugerencia: Considere el cuadrado como una cara de un cubo con arista  $d$ .)

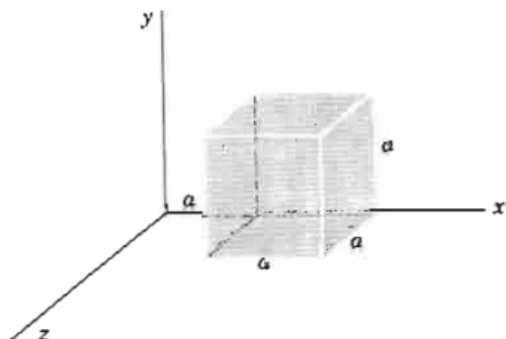


9. Experimentalmente se determina que el campo eléctrico en cierta región de la atmósfera de la Tierra está dirigido verticalmente hacia abajo. A una altitud de 300 m el campo es de  $58 \text{ N/C}$  y a una altitud de 200 m es de  $110 \text{ N/C}$ . Calcule la cantidad neta de carga contenida en un cubo de 100 m de arista ubicado a una altitud entre 200 y 300 m. Desprecie la curvatura de la Tierra.
11. La "ley de Gauss para la gravitación" es

$$\frac{1}{4\pi G} \Phi_g = \frac{1}{4\pi G} \oint \mathbf{g} \cdot d\mathbf{A} = -m,$$

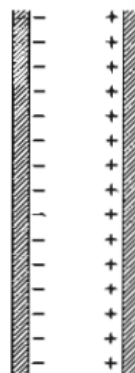
donde  $m$  es la masa encerrada y  $G$  es la constante universal de la gravitación. Deduzca la ley de la gravitación de Newton para esto. ¿Qué significa el signo menos?

13. Las componentes del campo eléctrico en la figura 26 son  $E_x = bx^{1/2}$ ,  $E_y = E_z = 0$ , donde  $b = 8830 \text{ N/C} \cdot \text{m}^{1/2}$ . Calcule (a) el flujo  $\Phi_E$  a través del cubo y (b) la carga dentro del cubo. Suponga que  $a = 13.0 \text{ cm}$ .

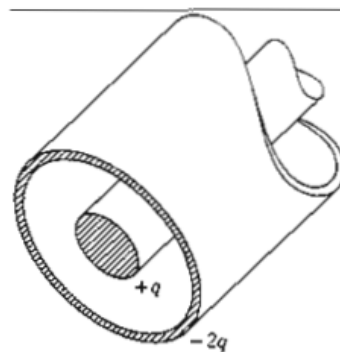


15. Los vehículos espaciales que viajan a través de los cinturones de radiación de la Tierra chocan con electrones atrapados. Puesto que en el espacio no existe un suelo, la carga resultante acumulada puede resultar significativa y dañar a los componentes electrónicos, generando averías en los circuitos de control y otras anomalías operativas. Un satélite metálico esférico de  $1.3 \text{ m}$  de diámetro acumula  $2.4 \mu\text{C}$  de carga en una revolución orbital. (a) Determine la densidad de carga superficial. (b) Calcule el campo eléctrico resultante inmediatamente afuera de la superficie del satélite.
17. Una esfera conductora que contiene una carga  $Q$  está rodeada por un cascarón conductor. (a) ¿Cuál es la carga neta en la superficie interna del cascarón? (b) Se coloca otra carga  $q$  afuera del cascarón; ¿cuál es ahora la carga neta en la superficie interior del cascarón? (c) Si  $q$  se mueve a una posición entre el cascarón y la esfera, ¿cuál es la carga neta en la superficie interna del cascarón? (d) ¿Son sus respuestas válidas si la esfera y el cascarón no son concéntricos?
19. Una placa de metal de  $8.0 \text{ cm}$  de lado tiene una carga total de  $6.0 \mu\text{C}$ . (a) Usando la aproximación de la placa infinita, calcule el campo eléctrico a  $0.50 \text{ mm}$  arriba de la superficie de la placa, cerca del centro de la misma. (b) Estime el campo a una distancia de  $30 \text{ m}$ .
21. (a) El cilindro de la máquina fotocopidora del problema muestra 3 tiene una longitud de  $42 \text{ cm}$  y un diámetro de  $12 \text{ cm}$ . ¿Cuál es la carga total en el cilindro? (b) El fabricante desea producir una versión portátil de la máquina. Esto requiere reducir el tamaño del cilindro a una longitud de  $28 \text{ cm}$  y un diámetro de  $8 \text{ cm}$ . El campo eléctrico en la superficie del cilindro debe permanecer inalterado. ¿Cuál debe ser la carga en este nuevo cilindro?

23. Dos placas metálicas grandes están una frente a la otra como en la figura 28 y contienen cargas con densidad superficial de carga  $+\sigma$  y  $-\sigma$ , respectivamente, sobre sus superficies internas. Determine  $E$  en los puntos (a) a la izquierda de las láminas, (b) entre ellas, y (c) a la derecha de las láminas. Considere sólo los puntos no cercanos a los extremos cuyas distancias a partir de las láminas son pequeñas comparadas con las dimensiones de la lámina. (Sugerencia: Véase el problema muestra 6.)

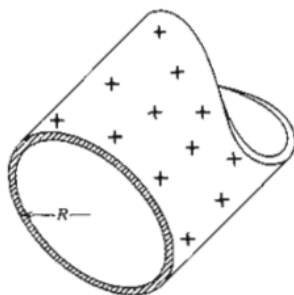


25. Una esfera pequeña cuya masa  $m$  es de  $1.12 \text{ mg}$  contiene una carga  $q = 19.7 \text{ nC}$ . Cuelga en el campo gravitatorio de la Tierra de un hilo de seda que forma un ángulo  $\theta = 27.4^\circ$  con una lámina grande no conductora y uniformemente cargada como en la figura 29. Calcule la densidad de carga uniforme  $\sigma$  para la lámina.
27. Un alambre delgado, recto y muy largo, tiene  $-3.60 \text{ nC/m}$  de carga negativa fija. El alambre se rodeará de un cilindro uniforme de carga positiva, de  $1.50 \text{ cm}$  de radio, coaxial con el alambre. La densidad volumétrica de carga  $\rho$  del cilindro se escoge de modo que el campo eléctrico neto afuera del cilindro sea cero. Calcule la densidad de carga  $\rho$  positiva requerida.
29. Un cilindro conductor muy largo (de longitud  $L$ ) conteniendo una carga total  $+q$  está rodeado por un tubo cilíndrico (también de longitud  $L$ ) con una carga total  $-2q$ , como se muestra en sección transversal de la figura 31. Use la ley de Gauss para hallar (a) el campo eléctrico en los puntos afuera del tubo conductor, (b) la distribución



de la carga en el tubo conductor y (c) el campo eléctrico en la región comprendida entre el tubo y el cilindro.

31. Un protón gira con una velocidad de  $v = 294$  km/s justo afuera de una esfera cargada de radio  $r = 1.13$  cm. Determine la carga en la esfera.
33. La figura 34 muestra la sección a través de un tubo metálico de pared delgada de radio  $R$ , que contiene una carga  $\lambda$  por unidad de longitud en su superficie. Deduzca expresiones de  $E$  para varias distancias  $r$  del eje del tubo, considerando tanto (a)  $r > R$  como (b)  $r < R$ . (c) Dibuje los resultados para la zona entre  $r = 0$  y  $r = 5.0$  cm, suponiendo que  $\lambda = 2.0 \times 10^{-4}$  C/m y  $R = 3.0$  cm. (Sugerencia: Utilice las superficies gaussianas cilíndricas, coaxiales con el tubo de metal.)



35. En la geometría del problema 34 un positrón gira en una trayectoria circular entre los cilindros y concéntrica a éstos. Halle su energía cinética, en electrón-volts. Suponga que  $\lambda = 30$  nC/m. (¿Por qué no es necesario saber cuáles son los radios de los cilindros?)
37. Dos cilindros concéntricos, largos y cargados tienen radios de 3.22 y 6.18 cm. La densidad superficial de carga en el cilindro interno es de  $24.7 \mu\text{C}/\text{m}^2$  y la del cilindro externo es de  $-18.0 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . Halle el campo eléctrico en (a)  $r = 4.10$  cm y (b)  $r = 8.20$  cm.
39. Un electrón de 115 keV se dispara directamente hacia una lámina plástica grande y plana que tiene una densidad superficial de carga de  $-2.08 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . ¿Desde qué distancia debe dispararse el electrón para que apenas falle en chocar contra la lámina? (Haga caso omiso de los efectos relativistas.)
41. Una carga positiva se distribuye uniformemente a través de un tubo cilíndrico largo de radio interior  $R$  y radio exterior  $2R$ . ¿A qué profundidad radial, bajo la superficie externa de la distribución de carga, la intensidad del campo eléctrico es igual a la mitad de su valor en la superficie?
43. Demuestre que es imposible un equilibrio estable bajo la acción de las fuerzas electrostáticas únicamente. (Sugerencia: Suponga que en un cierto punto  $P$  en un campo eléctrico  $E$ , una carga  $+q$  estaría en equilibrio estable si fuese situada allí. Trace una superficie gaussiana esférica con respecto a  $P$ , imagine a dónde debe apuntar  $E$  en esta superficie, y aplique la ley de Gauss para demostrar que la hipótesis lleva a una contradicción.) Este resultado se conoce como el teorema de Earnshaw.

45. Una carga está distribuida uniformemente a través de un cilindro infinitamente largo de radio  $R$ . (a) Demuestre que  $E$ , a una distancia  $r$  del eje del cilindro ( $r < R$ ), está dada por

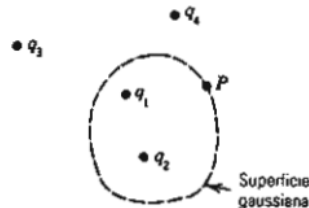
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^4} r^2,$$

donde  $\rho$  es la densidad volumétrica de carga. (b) ¿Qué resultado se obtendría cuando  $r > R$ ?

47. Una esfera sólida no conductora de radio  $R$  tiene una distribución de carga no uniforme, siendo  $\rho = \rho_s r/R$  la densidad de carga, donde  $\rho_s$  es una constante y  $r$  es la distancia desde el centro de la esfera. Demuestra que (a) la carga total sobre la esfera es  $Q = \pi\rho_s R^3$  y (b) el campo eléctrico dentro de la esfera está dado por

$$E = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r^2} - \frac{r}{R^3} \right).$$

1. ¿Cuál es la base de la afirmación de que las líneas de fuerza eléctrica comienzan y terminan sólo en cargas eléctricas?
2. A las cargas positivas se les llama a veces "fuentes" y a las cargas negativas "sumideros" del campo eléctrico. ¿Cómo justificaría usted esta terminología? ¿Existen fuentes y sumideros del campo gravitatorio?
3. Por analogía con  $\Phi_g$  cómo definiría usted el flujo  $\Phi_e$  de un campo gravitatorio? ¿Cuál es el flujo del campo gravitatorio de la Tierra a través de los límites de un salón, suponiendo que no contenga materia? A través de una superficie esférica que rodeara muy cercanamente a la Tierra? ¿A través de una superficie esférica del tamaño de la órbita de la Luna?
4. Considere la superficie gaussiana que rodea parte de la distribución de carga mostrada en la figura 19. (a) ¿Cuál de las cargas contribuye al campo eléctrico en el punto P?



5. Suponga que un campo eléctrico situado en cierta región tiene una dirección constante pero está decreciendo en intensidad en esa dirección. ¿Qué concluiría usted acerca de la carga en la región? Trace las líneas de fuerza.
6. ¿Afirmar exactamente la ley de Gauss que el número total de líneas de fuerza que cruzan a toda superficie cerrada en la dirección hacia fuera es proporcional a la carga positiva neta encerrada dentro de la superficie?
7. Una carga puntual está situada en el centro de una superficie gaussiana esférica. ¿Cambia  $\Phi_e$  (a) si la superficie se sustituye por un cubo del mismo volumen, (b) si la esfera se sustituye por un cubo de la décima parte del volumen, (c) si la carga se mueve fuera del centro en la esfera original y permanece adentro, (d) si la carga se mueve justo afuera de la esfera original, (e) si se sitúa una segunda carga cerca y afuera de la esfera original, y (f) si se sitúa una segunda carga adentro de la superficie gaussiana?

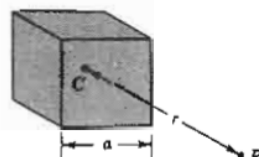
8. En la ley de Gauss,

$$\epsilon_0 \oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = q,$$

es  $\mathbf{E}$  necesariamente el campo eléctrico atribuible a la carga  $q$ ?

9. Una superficie encierra a un dipolo eléctrico. ¿Qué puede usted decir acerca de  $\Phi_e$  para esta superficie?
10. Supóngase que una superficie gaussiana no encierra carga neta alguna. ¿Requiere la ley de Gauss que  $\mathbf{E}$  sea igual a cero para todos los puntos sobre la superficie? ¿Es cierto el recíproco de este postulado; esto es, si  $\mathbf{E}$  es igual a cero en todas las partes de la superficie, requiere la ley de Gauss que no exista ninguna carga neta en el interior?

11. ¿Es útil la ley de Gauss para calcular el campo debido a tres cargas iguales situadas en los vértices de un triángulo equilátero? Explique.
12. Una carga total  $Q$  está distribuida uniformemente en un cubo de longitud  $a$  de su arista. El campo eléctrico resultante en un punto externo  $P$ , a una distancia  $r$  del centro  $C$  del cubo, ¿está dado por  $E = Q/4\pi\epsilon_0 r^2$ ? Véase la figura 20. Si no es así, ¿puede hallarse  $E$ , construyendo una superficie gaussiana cúbica "concéntrica"? Si no se puede, explique por qué. ¿Qué puede usted decir con respecto a  $E$  si  $r \gg a$ ?



13. ¿Es  $E$  necesariamente cero dentro de un globo de hule cargado, si su forma es (a) esférica o (b) alargada? Para cada forma suponga que la carga está distribuida uniformemente sobre la superficie. ¿Cómo cambiaría la situación, de ser así, si el globo tuviese una capa delgada de pintura conductora en su superficie externa?
14. Un globo esférico de hule contiene una carga que está uniformemente distribuida sobre su superficie. Cuando el globo estalla, ¿cómo varía  $E$  en los puntos (a) dentro del globo, (b) en la superficie del globo, y (c) fuera del globo?
15. En la sección 29-3 hemos visto que la ley de Coulomb puede deducirse de la ley de Gauss. ¿Significa ello, necesariamente, que la ley de Gauss puede deducirse de la ley de Coulomb?
16. ¿Se cumpliría la ley de Gauss si el exponente en la ley de Coulomb no fuese exactamente 2?
17. Un conductor hueco, aislado y grande contiene una carga positiva. A través de una pequeña abertura en la parte superior del conductor se hace descender una pequeña bola de metal que tiene una carga negativa de la misma magnitud, de manera que toque la superficie interior, y luego se retira. ¿Cuál es, entonces, la carga en (a) el conductor y (b) la bola?
18. ¿Podemos deducir del argumento de la sección 29-4 que los electrones en los conductores del sistema de alambreado eléctrico de una casa se mueven por las superficies de dichos conductores? Si no, ¿por qué no?
19. En la sección 29-4 supusimos que  $\mathbf{E}$  es igual a cero en todas partes dentro de un conductor aislado. Sin embargo, existen ciertamente campos eléctricos muy grandes dentro del conductor, en los puntos cercanos a los electrones o al núcleo. ¿Invalida esto la demostración de la sección 29-4? Explique.
20. ¿Requiere la ley de Gauss, como se aplicó en la sección 29-4, que todos los electrones de conducción en un conductor aislado residan en la superficie?
21. Una carga puntual positiva  $q$  está situada en el centro de una esfera de metal hueca. ¿Qué cargas aparecen en (a) la superficie interna y en (b) la superficie externa de la esfera? (c) Si acercamos un objeto metálico (descargado) a la esfera, ¿cambiarán sus respuestas de (a) y (b) anteriores? ¿Cambiará el modo en que está distribuida la carga sobre la esfera?