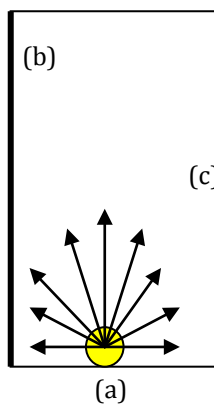


Exercicis de realisme: el·liminació parts amagades i il·luminació¹

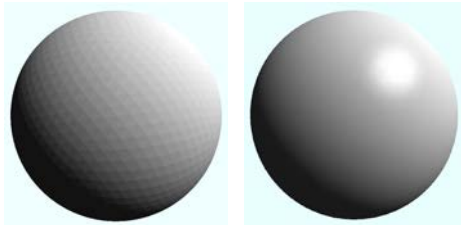
1. (2004-2005 1Q) Una esfera brillant de metall que es veu groga quan s'il·lumina amb llum blanca, la posem en una habitació que té llum ambient (.5, .5, .5) i un únic focus, de llum verda, situat 2 metres damunt de la càmera (en direcció de l'eix y). Quines zones distingirem en la visualització de l'esfera i de quins colors seran? Justifiqueu la resposta en relació a les propietats del material de l'esfera i les llums. Imagineu que es calcula el color en cada punt de l'esfera.
2. (2004-2005 1Q) Ens movem interactivament per una habitació que té llum ambient i un focus de llum a una de les seves parets (a). Veiem que una de les parets laterals (b) té una il·luminació que no canvia mentre ens movem, tot i que és més clara prop del focus i més fosca lluny del focus. En una altra de les parets (c) veiem perfectament el reflex del focus mentre ens anem movent. Justifiqueu el material de les parets i com ha de ser el seu model geomètric 3D.



3. (2004-2005 1Q) Quin efecte té en l'algorisme de z-buffer: (a) No efectuar culling. (b) Incrementar el nombre de bits de cada component del depth-buffer.
4. (2004-2005 2Q) Raona amb quins valors inicialitzaries les constants empíriques del material $k_{d\lambda}$ i $k_{s\lambda}$ d'un objecte que té el següent comportament: els reflexos especulars sempre es veuen del mateix color que la llum del focus i la resta de zones il·luminades pel focus es veuen de color groc si el focus és groc i del mateix color que les zones no il·luminades pel focus quan el focus és de color blau.
5. (2004-2005 2Q) La continuïtat visual de color en el veïnatge d'una aresta permet "suavitzar" les arestes d'objectes amb cares planes que aproximen cares corbades. Justifiqueu com s'aconsegueix l'esmentada continuïtat visual atenent a l'equació dels models empírics d'il·luminació i del shading (acoloriment) de polígons.
6. (2004-2005 2Q) Disposem de dos cubs amb les seves cares paral·leles als plans coordenats, longitud d'aresta igual a 2 i centres als punts (2,1,2) i (5,1,2) respectivament. Els cubs són de metall gris i s'il·luminen amb un focus de llum verda situat al punt (20,1,2). Com és possible que la cara del cub_1 situada en $x=3$ es vegi il·luminada si el cub_2 li fa ombra?. Quines altres cares es veuran il·luminades pel focus?
7. (2005-2006 1Q). Una escena està formada per dos objectes: una esfera de color groc d'aspecte mat i un cub amb les cares cobertes de miralls rosats. Especifiqueu quin podria ser el seu material (constants empíriques: $k_{a\lambda}$, $k_{d\lambda}$, $k_{s\lambda}$, n). Justifiqueu la resposta.

¹ Els exercicis estan basats en preguntes d'examen de l'assignatura VIG del pla 2003 de l'Enginyeria o de l'actual IDI (a partir del curs 2011-2012). La solució de quasi tots ells està en la web de la DAFIB i/o de la biblioteca. Millor comenceu pels exercicis relacionats amb IDI (els darrers).

8. (2005-2006 1Q) Si tant el *back-culling* com el *z-buffer* són algorismes que permeten determinar les parts visibles d'una escena, ¿per què, usualment, s'apliquen conjuntament les dues tècniques en el procés de visualització? Raona la resposta.
9. (2005-2006 1Q). Les imatges (a) i (b) corresponen a dues visualitzacions d'una esfera aproximada per cares planes i han estat obtingudes utilitzant el procés de visualització amb *z-buffer* sense modificar ni la posició de la càmera, ni el focus de llum. Indica i raona el model d'il·luminació i la tècnica de shading (acoloriment) utilitzats per obtenir cada imatge.



10. (2005-2006 2Q) Tenim un objecte que es veu de color groc fosc quan no hi ha cap focus de llum i la llum ambient es (0.2, 0.2, 0.2). L'objecte és mate. De quins colors el veurem quan s'il·lumina simultàniament amb dos Focus de llum: un de vermell i un de blau? (Cal suposar que el color dels focus no té component ambient i que estan situats en posicions diferents).
11. (2005-2006 2Q) Volem visualitzar una escena formada per dues esferes aproximades per una triangulació convexa. Quina diferència hi haurà entre pintar-la utilitzant com a tècnica de detecció de visibilitat *z-buffer* o només *back-face culling*? De què depèn? (Nota: qualsevol altra inicialització és la mateixa en ambdós casos).
12. **(2005-2006 2Q)** Donat el següent tros de codi, indica on s'ha de definir i com s'ha d'inicialitzar la posició d'un focus de llum si es vol que la seva posició relativa respecte a la càmera sigui constant i estigui sempre situat 10 unitats a sobre de l'eix vertical de la càmera.
 1. `glMatrixMode(GL_PROJECTION);`
 2. `glLoadIdentity();`
 3. `gluPerspective(alfa, ra, znear, zfar);`
 4. `glMatrixMode(GL_MODELVIEW);`
 5. `glLoadIdentity();`
 6. `gluLookAt (OBS,VRP,up)`
 7. `drawModel();`
13. (2005-2006 2Q) Una aplicació dibuixa una esfera brillant de color blanc girant sobre si mateixa. Amb una càmera donada, veiem en pantalla que les dues taques especulars produïdes en l'esfera per dos focus (un verd i un vermell) fluctuen de mida. A què es degut? Com reduiries el problema? (Nota: les llums estan fixes respecte a coordenades de l'observador).
14. (2006-2007 1Q) Estem visualitzant una esfera aproximada per una malla de triangles, i observem que la veiem tota suavitzada (no distingim els triangles) excepte un dels triangles, que el podem veure clarament al mig de la superfície suavitzada. Com es possible? Raona la resposta en base al model de colorejat ("shading") que creguis que s'ha utilitzat i com s'han enviat a pintar els triangles.
15. (2006-2007 1Q) Estem visualitzant un objecte curvat que rep llum ambient, llum d'un focus blanc i llum d'un focus verd. Els dos focus es troben en posicions fixes respecte al Sistema de Coordenades de l'Aplicació. Observem dos efectes: quan movem l'observador, ens canvia el color d'algunes zones de l'objecte; però en canvi, el color no canvia si encenem o apaguem el focus de color verd. Què podeu dir sobre el material d'aquest objecte ? Inicialitzeu els valors de les constants del material.
16. (2006-2007 1Q) Suposem que tenim activat el focus de llum `GL_LIGHT1` d'OpenGL. Considera que tenim el següent tros de codi en OpenGL i que la crida `pinta_escena()` realitza correctament les crides necessàries a OpenGL per a pintar l'escena amb il·luminació (incloent materials i normals a les cares):

```

float pos[4] = {0.0, 10.0, 0.0, 1.0};
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glPushMatrix();
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT1, GL_POSITION, pos);
glPopMatrix();
pinta_escena();

```

- a) En quina posició respecte al sistema de coordenades de l'aplicació es trobarà el focus de llum quan es visualitzi l'escena si tenim en compte que la càmera està definida amb els paràmetres: Obs=(15.0,0.0,10.0), VRP=(15.0,0.0,0.0), up=(0.0,1.0,0.0), anglecam=60, ar=1, znear=0.5 i zfar=250?
 - b) Si en aquest tros de codi no hi hagués la crida `glLoadIdentity()`, com canviaria la teva resposta? Per què?
17. (2006-2007 2Q) Estem visualitzant una esfera en OpenGL, il·luminada per un focus de llum groga. La part no il·luminada pel focus es veu de color gris, la part il·luminada es veu amb una gradació de verd, i s'hi observa una taca especular de color groc. És possible? En cas afirmatiu, indica els paràmetres del material de l'esfera i de la llum ambient.

18. (2006-2007 2Q) Donat el tros de codi OpenGL següent:

```

float posllum1[4] = {0, 10, -10, 1};
float posllum2[4] = {0, 10, 0, 1};
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity ();
glTranslate (0, 0, -10);
glRotatef (-90, 0, 1, 0);
glLightfv (GL_LIGHT1, GL_POSITION, posllum1);
glPushMatrix ();
glLoadIdentity ();
glLightfv (GL_LIGHT2, GL_POSITION, posllum2);
glPopMatrix ();
pintaescena ();

```

Indica quines són les posicions, respecte del sistema de coordenades de l'aplicació, del llum GL_LIGHT1 i del llum GL_LIGHT2 quan es pinta l'escena. Justifica la resposta.

19. (2006-2007 2Q) Imaginem que tenim definit un laberint sobre una retícula de 10x10 amb cel·les buides i cel·les plenes (tipus paret). Situem 3 llums puntuals de colors vermell, verd i blau al punt mig del sostre de les cel·les de tipus "paret" (1,5), (5,5) i (9,5), respectivament. Les cel·les (3,5) i (7,5) no tenen "paret" (estàn buides). Totes les cel·les es pinten havent definit un mateix material amb $kd\lambda=ka\lambda=(0,5,0,5,0,5)$ i $ks\lambda=(0,0,0)$. Sense realitzar cap càlcul explícit, raona de quin color veurà l'observador la cara superior de les cel·les (1,5), (3,5) i (7,5). Nota: la cel·la (X,Z) representa la cel·la que té les seves coordenades mínimes en $x=X$ i $z=Z$.
20. (2007-2008 1Q) Una escena està formada per un conjunt d'objectes. Hi ha dos focus de llum encesos. Un està ubicat en la posició (F1.x,F1.y,F1.z) en coordenades de l'aplicació. L'altre es mou per l'escena i es disposa d'una funció `PosicioFocus(t,F2.x,F2.y,F2.z)` que retorna la seva posició en coordenades de l'aplicació en un instant determinat t. La càmera està ubicada i orientada segons (OBS1,VRP1,up1). Podeu suposar que existeix una acció `pinta_escena()` encarregada de pintar l'escena. Escriviu i justifiqueu el tros de codi OpenGL requerit per a la ubicació de les posicions de les llums i de la càmera, així com la crida a l'acció de pintat. No cal que definiu el tipus de càmera.
21. (2007-2008 1Q) Supposeu que tenim un triangle de vèrtexs $V1=(2,0,0)$, $V2=(-2,0,-2)$ i $V3=(-2,0,2)$ i volem calcular la il·luminació que fa en ell un focus de llum puntual de color blanc situat a la posició (2,4,0). Suposant que usem el model d'il·luminació de Phong, que l'observador es troba a la posició (2,4,0) i que el material del triangle té propietats $ka=(0,0,0)$, $kd=(0,0,0,8)$, $ks=(0,8,0,8,0,8)$ i $n=100$, indiqueu, justificant la resposta, com es veurà pintat el triangle a la vista en els següents casos (no es necessari que realitzeu càlculs explícits, simplement raoneu el resultat):

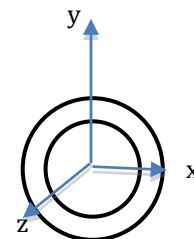
- a) La normal als tres vèrtexs és la normal del triangle. La cara mira cap al semiespai on es troba el focus de llum i s'usa colorat (shading) constant.
- b) La normal és diferent per a cada vèrtex. La normal al vèrtex V1 és (0,1,0). La normal als vèrtexs V2 i V3 és (-1,1,0). S'usa colorat de Gouraud.

22. (2007-2008 1Q) Un estudiant ha implementat una aplicació en la que només hi ha un llum d'escena però per error l'ha col·locat DINS d'un edifici. Els edificis són objectes convexos tancats. En visualitzar l'escena des d'una càmera exterior a l'edifici, de quin color es veurà aquest edifici? De quin color es veuran la resta d'edificis?.
23. (2007-2008 1Q) Els models empírics d'il·luminació d'OpenGL tenen certes limitacions quan calculen la il·luminació d'una escena. Per exemple, no es contemplen ombres ni miralls. A què és degut? Tanmateix, en les visualitzacions podem observar algunes cares més fosques, és a dir, no els arriba la llum del focus. Com és possible tenir aquest efecte si s'utilitzen models empírics?.
24. (2007-2008 2Q) El codi següent pinta correctament en filferros una escena formada per un cub d'aresta 20 centrat a l'origen. Tanmateix, quan afegim il·luminació i un únic "focus de càmera" (GL_LIGHT1) no obtenim l'efecte desitjat. Per què? De quin color veurà l'observador les cares del cub? Justifiqueu la resposta. Observació: anomenem "focus de càmera" a aquell que sempre es troba a la mateixa ubicació relativa a la càmera. Podeu considerar que el focus és de llum blanca i el cub és d'un material mat amb constant de reflexió difusa (1,0,0).

```
float pos[] = { 0., 0., 0., 1.}; //instrucció nova
glMatrixMode (GL_PROJECTION);
glLoadIdentity();
gluPerspective (65, 1, 20, 40);
gluLookAt(0,0,30,0,0,0,1,0);
glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT1, GL_POSITION, pos) //instrucció nova
glPushMatrix();
glScalef(2,2,2);
PintaCub (0,0,0,10) // pinta un cub centrat a l'origen d'aresta 10
glPopMatrix();
```

25. (2007-2008 2Q) Tenim el següent pseudo codi OpenGL per pintar un tor que té una capsca contenidora de longitud de costat màxim igual a 1, centrat a l'origen i que està orientat com s'indica esquemàticament en la figura.

```
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION,{0.,2.,0.,1.});
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_AMBIENT, {0.25,0.25,0.25,1.});
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_DIFFUSE, {0.5,0.5,0.5,1.});
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_SPECULAR,{0.5,0.5,0.5,1.});
gluLookAt(0.,0.,2.,0.,0.,0.,1.,0.); //Obs, VRP, up
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_AMBIENT, {0.25, 0.25, 0.25, 1.});
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_DIFFUSE, {0.5,0.5, 0.5, 1.});
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SPECULAR, {1., 0., 0., 1.});
glMaterialfv(GL_FRONT, GL_SHININESS, 60);
drawModel();
```



Indiqueu de quin(s) color(s) és veurà el tor i com quedaran distribuït(s) en ell.
Observació: podeu considerar que el nombre de triangles del torus és molt elevat i que es realitza smooth shading i suavitzat d'arestes.

26. (2008-2009 1Q) Una escena amb dues esferes A i B (representades per un poliedre convex) es mira des d'una posició on l'esfera B queda davant de la A i la tapa parcialment. Usant per a l'eliminació de parts amagades l'algorisme de culling, ens trobem que la visualització obtinguda no és correcta perquè el tros de l'esfera A que ha de ser tapat per l'esfera B es veu en la imatge. Perquè no està funcionant correctament l'eliminació de parts amagades? Com ho solucionaríes?
27. (2008-2009 1Q) Tenim una esfera el material de la qual està definit com: $K_a = (0.5, 0.5, 0)$, $K_d = (0, 1, 1)$, $K_s = (1, 1, 1)$. Suposant que està il·luminada per un únic focus de llum, indica els colors del focus de llum i de la llum ambient per a què a l'esfera es vegin els següents efectes: color verd fosc allà on no il·lumina el focus de llum i, en la zona il·luminada pel focus, una gradació de blaus i una taca clarament més lluminosa de color magenta (tot amb un fons verd fosc).
28. (2008-2009 1Q) Una escena està formada per diverses esferes de diferents grandàries però totes de mateix material. Observem en cadascuna d'elles 3 taques especulars blanques i ubicades, pràcticament, en la mateixa posició relativa en cada esfera.
- Creus que és possible? En cas afirmatiu, què podries dir de l'entorn d'il·luminació (nombre de focus, colors, ubicació,...) i de la posició de l'observador?
 - Les taques tenen forma poligonal, per què?
29. (2008-2009 1Q) Tenim una escena formada per dos cubs i l'estem visualitzant amb una càmera perspectiva que està definida (matrius $GL_MODELVIEW$ i $GL_PROJECTION$ inicialitzades). La volem il·luminar per tres focus de llum: un ha d'estar situat al centre del segment que uneix el centre dels cubs (punts C1 i C2); altre sempre estarà ubicat 10 unitats per sobre de l'observador i el tercer el volem ubicar 5 unitats a la "dreta visual" del centre del segon cub (punt C2). Un cop ubicat aquest tercer focus, ha de quedar en una posició fixa respecte de l'escena, encara que es modifiqui la càmera. Indiqueu el codi OpenGL per a ubicar els tres focus. Observació: entenem per "dreta visual" que el focus estigui desplaçat de la projecció de C2 en el viewport sobre una recta que es veu paral·lela al costat horitzontal del viewport.
30. (2008-2009 2Q) Tenim un cub de costat 20 centrat a l'origen, i una càmera que té l'observador a (0,8,0), el vrp a (0,0,0) i el vector up (0,0,1) i amb un window de (-20, 20, -20, 20) i $z_{near}=0.1$ i $z_{far}=20$. Si visualitzem aquesta escena amb el culling activat, el z-buffer activat i un focus de llum blanca situat a la posició de l'observador, veiem que la visualització no mostra res en la imatge al viewport. Per què?
31. (2008-2009 2Q) Un cub amb constants de material $K_d=(0.8,0,0.8)$ i $K_s=(1,1,1)$ i $N=100$, és il·luminat amb un focus que emet llum de color (1,1,0). No hi ha llum ambient. La càmera (correctament definida) és axonomètrica i l'observador i el focus estan a una distància 10 d'una cara (i mirant cap a ella) sobre una recta que és perpendicular a la cara i que passa pel seu centre. Indica:
- a. quins colors observa l'observador en el cub si s'utilitza *FLAT shading* (colorat constant)? Indica els colors dels vèrtexs en RGB i HSB.
 - b. quins colors observa l'observador en el cub si es pinta amb *SMOOTH shading* (colorat de Gouraud)?
32. (2008-2009 2Q) Volem visualitzar un cilindre aproximat per cares planes. Tenim un vector amb les coordenades de tots els vèrtexs i altre vector que ens permet conèixer, per a cada cara, la seva normal i els índexs dels seus vèrtexs. Sabem que les dues primeres cares de la llista de cares són les tapes del cilindre. Volem pintar el cilindre suavitzant només les arestes entre les cares que aproximem la part corbada del cilindre. Les arestes de les tapes del cilindre no s'han de suavitzar. Indica l'algorisme requerit per a fer el pintat de la geometria. Si s'escau, pots modificar/afegir informació a l'estructura de dades tot indicant com es calcula. Observació: No cal definir la càmera.

33. (2008-2009 2Q) El següent codi permet pintar un cub de costat 6 centrat en el punt (0,3,0) . El volem il·luminar amb dues llums. La llum 0 s'ha de moure amb la càmera. La llum 1 estarà sempre ubicada sobre el cub en la recta que passa pel seu centre en la direcció de l'eix Y de l'aplicació i a distància 3 del centre de la seva cara superior. Contesta raonadament les respostes.
- Indica les crides a `glLight` necessàries per a posicionar ambdues llums i el lloc del codi en que les posaries. *Observació:* els colors de les llums ja estan inicialitzats, només has de fer la crida per a indicar la posició.
 - Imagineu que volem moure el cub en una direcció horitzontal respecte de la pantalla. Indica i justifica les modificacions requerides del codi.
 1. `setProjection();` //inicialitza la `gluPerspective`
 2. `glMatrixMode(GL_MODELVIEW);`
 3. `glLoadIdentity();`
 4. `glTranslatef(0,0,-dist);`
 5. `glRotatef(-angleZ,0,0,1);`
 6. `glRotatef(angleX,1,0,0);`
 7. `glRotatef(-angleY,0,1,0);`
 8. `glTranslatef(-VRP.x,-VRP.y,-VRP.z);`
 9. `Pinta_Cub();`
34. (2009-2010 1Q) Explica en què consisteix el shading de Gouraud, i en què el shading de Phong. Explica quin és el 10 seu propòsit. Quin fa servir OpenGL?
35. (2009-2010 1Q) Partint del codi mostrat abaix, i sense fer servir les comandes `glPushMatrix()/glPopMatrix()`, indica quin codi inclouries, i a on, per a definir els següents dos focus de llum:
- a) `GL_LIGHT0`, un llum de càmera de color blanc, i
 - b) `GL_LIGHT1`, un llum d'escena de color vermell.
- Raona la teva resposta.
- ```

1 void GLWidget :: paintGL (void)
2 {
3 glClear (GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
4
5 glMatrixMode (GL_MODELVIEW);
6 glLoadIdentity ();
7 glTranslatef (0,0,- dist);
8 glRotatef (angleZ ,0 ,0 ,1);
9 glRotatef (angleX ,1 ,0 ,0);
10 glRotatef (angleY ,0 ,1 ,0);
11 glTranslatef (- VRP.x,- VRP.y,- VRP.z);
12
13 // Dibuixa l'escena :
14 ...
15 }

```
36. (2009-2010 1Q) Amb la il·luminació apagada i fent servir OpenGL, dibuixem un triangle tal que els seus tres vèrtexs A, B i C cauen en coordenades de dispositiu (10; 10), (50; 50), (10; 100) respectivament, fent servir una càmera ortogonal. Com a resultat de la rasterització, el píxel que es troba a la posició (10; 55) canvia a un color magenta pur (0.5; 0; 0.5). Què ens permet deduir això del color dels tres vèrtexs A, B i C si el mode de pintat és `GL_FLAT`? I si és `GL_SMOOTH`? Raoneu les respostes.
37. (2009-2010 1Q) Donada una esfera amb constants de material:  $K_a = (0.2; 0.2; 0.2)$ ,  $K_d = (0.8; 0; 0.8)$ ,  $K_s = (1; 1; 0)$ . Suposant que s'il·lumina únicament per un focus de llum, indica, justificadament, quins haurien de ser els paràmetres de llum del focus (posició i color, sense distingir entre components ambient, difusa i especular) per a poder observar els següents efectes en l'esfera (en cas que l'efecte no sigui possible també has d'indicar-ho).
- (a) S'observa la silueta de l'esfera d'un color gris molt fosc i en la resta de l'esfera una gradació de colors magenta.

(b) S'observa la silueta de l'esfera d'un color gris molt fosc i en la resta de l'esfera una gradació de colors vermells amb una taca més lluminosa de color groc.

38. **(2009-2010 2Q)** Tenim una paret il·luminada per un únic focus de llum. La il·luminació es calcula usant únicament el model d'il·luminació de Phong. La paret està pintada amb una pintura brillant. Si s'està dibuixant amb OpenGL amb colorat GL\_SMOOTH, veurem diferències si la geometria de la paret és un únic polígon rectangular o si està formada per una malla densa de triangles? Dóna una explicació detallada de perquè.
39. (2009-2010 2Q) En un programa, l'autor ha definit, per error, dues llums idèntiques (mateix tipus, posició i colors). En visualitzar una escena amb el programa, tal que les llums la il·luminen correctament, hi haurà alguna diferència apreciable si està activada sols una, o si ho estan les dues? La teva resposta és independent dels paràmetres de color de les llums i de l'escena que visualitzem?
40. (2010-2011 1Q) Tenim un polígon gris mate amb els vèrtexs V1(-10,0,10), V2 (10,0,10), V3 (10,0,-10) i V4 (-10,0,-10); ubiquem sobre cada un dels seus vèrtexs i a una distància de 0.5, un llum puntual de color blau, blau, vermell i verd, respectivament.
- Indiqueu les constants del material del polígon.
  - Si les llums estan totes enceses i pintem el polígon utilitzant OpenGL amb colorat (*shading*) de Gouraud (*Smooth*), quina seria la distribució de colors en el polígon? Justifica la resposta. No hi ha llum ambient.
  - Apaguem els focus blaus i ubiquem dos cubs del mateix material que el polígon, amb longitud d'aresta 1, i amb el centre de les seves bases en (5,0,-10) i (-5,0,-10); de quin color quedaran cadascuna de les seves cares?
41. (2010-2011 1Q) Es disposa del següent codi OpenGL que il·lumina i pinta una escena en la que hi ha un cotxe que es va movent. Indica la posició i/o la direcció de cadascun dels 4 focus, respecte el sistema de coordenades de l'aplicació, en el moment en què es crida a l'acció pintaCotxe(). Raona la resposta.
- ```
...
GLfloat pos0[4]={ 0.0, 0.0, 0.0, 1.0};
GLfloat pos1[4]={10.0, 10.0, 0.0, 1.0};
GLfloat pos2[4]={ 0.0, 10.0, 0.0, 1.0};
GLfloat pos3[4]={10.0, 10.0, 0.0, 0.0};

glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos0);
gluLookAt(1.0, 1.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1.0);
//(Obs.x,obs.y,obs.z,VRP.x,VRP.y;VRP.z,up.x,up.y,up.z);
glLightfv(GL_LIGHT1, GL_POSITION, pos1);
glLightfv(GL_LIGHT3, GL_POSITION, pos3);

posCotxe=moureCotxe();
glPushMatrix();
glTranslate(posCotxe.x, posCotxe.y, posCotxe.z);
glLightfv(GL_LIGHT2, GL_POSITION, pos2);
pintaCotxe();
glPopMatrix();
...
```
42. (2010-2011 1Q) Per què diem que utilitzem models d'il·luminació locals en OpenGL? Quines limitacions tenen en quant al realisme de l'escena?
43. (2011-2012 1Q) Un estudiant vol fer una aplicació que genera una imatge que visualitza una pilota d'or. Ha generat el model geomètric en base a una aproximació de l'esfera per cares planes. Ara es pregunta quines constants de material li hauria de posar i quin model d'il·luminació i shading hauria d'utilitzar per a què l'esfera es vegi el més realista possible.

- a) Raona la solució que faries i escriu el tros de codi d'OpenGL que envia a pintar l'esfera (totes les seves cares són triangles). Suposa un focus de llum blanca ja inicialitzat.
- b) Suposant l'esfera centrada a l'origen de radi 2, l'observador al punt (0, 0, 10) i el focus de llum al punt (0, 0, 10), com seria la imatge de l'esfera a la vista? És a dir, quins colors es veurien en l'esfera a la vista?
44. (2011-2012 1Q) Un joc per computador vol simular un helicòpter amb un llum que segueix un cotxe que es mou per una ciutat (el focus de l'helicòpter il·lumina sempre al cotxe). Suposant que tenim les crides següents: `posicio_cotxe(x,y,z)` que retorna la posició del cotxe en un instant; `posicio_llum_helicopter(xh,yh,zh)` que retorna la posició de l'helicòpter; `pinta_cotxe()` que pinta el cotxe centrat a l'origen de coordenades; `pinta_helicopter()` que pinta l'helicòpter centrat a l'origen de coordenades; i `setcamera()` que contínuament actualitza la càmera per veure correctament en tercera persona l'escena. Es demana que doneu el tros de codi que pinta l'helicòpter i el cotxe fent que la llum de l'helicòpter sigui puntual i de tipus SPOT.
45. (2011-2012 2Q) Volem pintar una escena amb 3 objectes i un focus de llum SPOT. Els objectes es pinten amb les crides `PintaObj1()`, `PintaObj2()` i `PintaObj3()` respectivament (no cal fer cap transformació per a pintar els objectes). El primer objecte està centrat al punt C1, el segon al punt C2 i el tercer al punt C3. Es vol tenir un focus de llum puntual i de tipus SPOT que vagi donant voltes al voltant de l'objecte 2, a una alçada de 10 unitats sobre el seu centre i describint un cercle de radi R al voltant de l'eix vertical que passa pel centre de l'objecte. El focus SPOT ha d'enfocar sempre al centre de l'objecte 2. Escriu el tros de codi que permet visualitzar aquesta escena amb el focus de llum SPOT tal i com es demana. Suposa que la càmera està ja definida i no es modifica (pots suposar un mètode "`set camera()`" que ho fa si el necessites).
46. (2011-2012 2Q) Tenim dues esferes, de radis 10 i 2, una a dins de l'altra, amb els seus centres situats al mateix punt. Suposant que tenim una font de llum a l'observador que emet una llum (1,0,1) i que tots dos, observador i focus, es troben situats fora de les dues esferes i mirant cap al seu centre. Com creus que estarà il·luminada l'esfera de dins, si aquesta té constants de material $K_a=(0,0,0)$, $K_d=(0.8,0.8,0)$, $K_s=(1,1,1)$ i $N=100$?
47. (2011-2012 1Q) Tenim una escena formada per 3 cubs sòlids de longitud d'aresta 2, centres de les seves bases en els punts (2,0,0), (5,0,0) i (8,0,0), cares paral·leles als plans de coordenades i d'un material mate de color vermell, verd i blau respectivament. Situem un focus puntual blanc en el punt (8,1,0), l'observador en (5,1,0), el VRP en (0,1,0), up (0,1,0) i una càmera perspectiva amb relació d'aspecte 1, $zN=0.5$, $zF=6$ i $FOV=90^\circ$. Quines cares dels cubs seran visibles en el *viewport* i de quin color es veuran si es pinta l'escena utilitzant OpenGL si per eliminar parts amagades s'utilitza: a) Només el *back-face culling* b) Activat només el *zbuffer*.
48. (2011-2012 1Q) Quines constants de material definiries si es vol que un objecte sigui de plàstic polit de color vermell? Raona la resposta.
49. (2011-2012 1Q) Per què diem que utilitzem models d'il·luminació locals en OpenGL? Quines limitacions tenen en quant al realisme de l'escena?
50. (2011-2012 2QP) Si tant el *back-face culling* com el *z-buffer* són algorismes que permeten determinar les parts visibles d'una escena, ¿per què, usualment, s'apliquen conjuntament les dues tècniques en el procés de visualització? Raona la resposta.
51. (2011-2012 2QP) Donada una esfera amb constants de material: $K_a = (0.2; 0.2; 0.2)$, $K_d = (0.8; 0; 0.8)$, $K_s = (1; 1; 0)$, $N=100$. Suposant que s'il·lumina únicament per un focus de llum, indica, justificadament, quins haurien de ser els paràmetres de llum del focus (posició i color) per a poder observar el següent efecte en l'esfera (en cas que l'efecte no sigui possible també has d'indicar-ho): S'observa la silueta de l'esfera d'un color gris molt fosc i en la resta de l'esfera una gradació de colors magenta amb una taca més lluminosa de color blanc.

52. (2011-2012 2Q) Un terra molt polit (brillant) de color blau es modela amb un polígon de coordenades (0,0,10), (10,0,10) (10,0,0) i (0,0,0) i normal (0,1,0). Existeix un focus de llum blanc d'escena a la posició (5,5,5). Es visualitza utilitzant un codi OpenGL que utilitza "smooth shading", una càmera ubicada en (10,5,10) que mira cap al (5,0,5) i que permet veure tot el polígon, indica i justifica:

- Les constants empíriques del material del terra.
- La distribució de colors que veurem en el terra

Si ara el terra es pinta amb 100 quadrats de 1x1 que cobreixen la mateixa àrea que el polígon original:

- La distribució de colors que veurem en el terra

53. (2011-2012 2Q) Una escena amb dues esferes A i B (representades cadascuna per un poliedre convex) es mira des d'una posició on l'esfera B queda davant de la A i la tapa parcialment. Usant per a l'eliminació de parts amagades NOMÉS l'algorisme de *back-face culling*, ens trobem que la visualització obtinguda no és correcta perquè el tros de l'esfera A que ha de ser tapat per l'esfera B es veu en la imatge.

- Per què no està funcionant correctament l'eliminació de parts amagades?
- Com ho solucionaríes?

54. (2011-2012 2Q) El codi següent pinta una escena formada per un cub de material blanc mate (no cal considerar la reflexió especular) d'aresta 20 centrat a l'origen de coordenades. Assumint el següent: el *depth-test* i la il·luminació estan habilitats, el focus de llum 1 és de color blau, el focus de llum 2 de color groc, el *viewport* quadrat i *pintacub()* conté totes les crides OpenGL requerides per a pintar el cub.

```
float posllum1[4] = {0, 0, 10, 1};
float posllum2[4] = {0, 30, 0, 1};
glMatrixMode(GL_PROJECTION);
glLoadIdentity();
gluPerspective(90, 1, 5, 40);
glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT1, GL_POSITION, posllum1);
glPushMatrix();
*gluLookAt(...);
glLightfv(GL_LIGHT2, GL_POSITION, posllum2);
pintacub();
glPopMatrix();
```

Indiqueu com es veuria en pantalla colorat el cub en les següents casos:

- si en * posem `gluLookAt(20,0,0,0,0,0,1,0)`
- si en * `gluLookAt(0,20,0,0,0,0,0,1)`

55. (2012-2013 1Q) S'aproxima un cilindre per un prisma amb bases poligonals de 20 costats. S'inicialitza una càmera en una posició arbitrària que permet veure el cilindre optimitzant la seva ocupació en el viewport. Es visualitza utilitzant OpenGL amb z-buffer, il·luminació i shading de Gouraud (Smooth). Quines diferències qualitatives observaries en la imatge resultant si s'envia a pintar la geometria amb normal per vèrtex o normal per cara?

56. (2012-2013 1Q) El següent codi permet pintar un cub de costat 6 centrat en el punt (0,3,0) amb cares paral·leles als plans coordenats. El volem il·luminar amb dues llums puntuals. La llum 0 s'ha de moure amb la càmera i ha d'estar situada 10 unitats per sobre de l'observador. La llum 1 estarà ubicada en la recta que passa pel centre del cub en la direcció dels Z positius de l'aplicació i a distància 6 del centre del cub.

1. `setProjection();` //inicialitza la `gluPerspective` correctament per a veure el cub
2. `glMatrixMode(GL_MODELVIEW);`
3. `glLoadIdentity();`
4. `glTranslatef(0,0,-6);`

5. `glRotatef(-90,0,1,0);`
6. `glTranslatef(0,-3,0);`
7. `Pinta_Cub();`

Indica raonadament les crides a `glLight` necessàries per a posicionar ambdues llums com s'indica i de forma que en cada visualització la llum 1 apunti a una cara lateral diferent del cub (giri al voltant de l'eix Y de l'aplicació). Indica clarament el lloc del codi en que les posaries. Observació: els colors de les llums ja estan inicialitzats, només has de fer la crida per a indicar la posició.

57. (2012-2013 2Q) Es vol pintar una escena amb un focus situat a la posició (10,20,0) en coordenades de l'aplicació, indica en quina posició del codi següent posaries la instrucció `glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, posfocus)` i amb quins valors s'ha d'inicialitzar la posició del focus (`posfocus`),

```
1. glMatrixMode(GL_PROJECTION);
2. glLoadIdentity();
3. gluPerspective(alfa, ra, znear, zfar);
4. glMatrixMode(GL_MODELVIEW);
5. glLoadIdentity();
6. gluLookAt (0,20,0,0,0,0,0,0,1)
7. drawScene();
```

- a. **Entre les instruccions 5 i 6, i `posfocus=(-10,0,0,1)`**
- b. Entre les instruccions 6 i 7, i `posfocus=(-10,-20,0,1)`
- c. Després de la instrucció 7, i `posfocus=(10,20,0,1)`
- d. Entre les instruccions 6 i 7, i `posfocus=(-10,0,0,1)`

58. (2012-2013 2Q) Una escena està formada per dos cubs amb les cares paral·leles als plans de coordenades. El CUB1 té aresta 20, el centre de la seva base en (0,0,0) i és de color verd i mate; el CUB2 té aresta 20, centre de la seva base en (30,0,0) i és del mateix color verd però brillant. Il·lumina l'escena amb un focus groc situat en (50,10,0). L'observador es troba en una posició que pot veure les cares dels cubs ubicades en $x=10$ i $x=40$. Si es pinta l'escena amb OpenGL utilitzant model d'il·luminació de Phong i Smooth shading (Gouraud Shading), de quin color es veuran aquestes cares? No hi ha llum ambient.

- a. **La cara en $x=10$ és veurà de color verd constant, la cara en $x=40$ també és veurà de color constant però d'un verd més fosc.**
- b. La cara en $x=10$ és veurà de color verd constant, la cara en $x=40$ també és veurà de color constant però d'un verd més clar.
- c. La cara en $x=10$ és veurà de color verd constant, la cara en $x=40$ també és veurà de color constant però d'un verd més clar i amb una taca especular groga en mig de la cara.
- d. La cara en $x=10$ és veurà amb diferents tonalitats de verd, la cara en $x=40$ també és veurà amb diferents tonalitats de verd però més clars i amb una taca especular groga en mig de la cara.

59. (2013-2014 1Q) Una escena molt simple ha d'estar formada per un "terra" quadrat de costat 10, centrat a l'origen de coordenades i ubicat en el pla X-Z i amb costats paral·lels als eixos X i Z. El terra és groc brillant (està molt polit). S'il·lumina amb un focus blanc ($I_f=(0.8,0.8,0.8)$) ubicat en la càmera. La càmera permet inspeccionar l'escena en mode tercera persona (angles Euler) mirant sempre al centre de l'escena.

Un estudiant representa el "terra" mitjançant un quadrat de costat 10, mentre que un altre estudiant el representa mitjançant 10x10 quadrats de costat 1."

- Indica les constants de material que posaries al "terra".
- Si la càmera està en (0,5,0) com quedaria la visualització del "terra" dels dos estudiants? I si la càmera està en (5,5,5)?

60. (2013-2014 1Q) La funció *pinta_escena_fixa()*, envia a pintar una geometria que consisteix en:

- un quadrat de costat 10, centrat a l'origen de coordenades, ubicat en el pla X-Z i amb costats paral·lels als eixos X i Z.
- un objecte amb caps contenidora amb la seva base centrada a l'origen i mides 2x2x2.

La nova funció *pinta_escena()* hauria de pintar l'escena descrita afegint un cub de costat 2 que gira al voltant de l'eix Y de coordenades amb un focus situat al damunt de la seva cara superior a una distància *dist* i que es mou solidàriament amb ell. A tal efecte, s'ha dissenyat el codi adjunt al qual li falta un tros en el punt (1). Quina de les opcions que proposem és la que cal afegir al punt (1) per a que el codi faci el que s'ha enunciat?

Observacions: la càmera no es modifica mai, les funcions de pintat inclouen la descripció dels materials i el color de la llum està correctament inicialitzat. La funció *glutSolidCube(len)* pinta un cub de costat *len* centrat en l'origen.

```
void pinta_escena() {  
    ...  
    pos = {0.0, dist, 5.0, 1.0};  
    alfa=alfa+inc_alfa  
    glMatrixMode(GL_MODELVIEW);  
    (1)  
    pinta_escena_fixa();  
    glutSwapBuffers();  
}
```

- a. **glPushMatrix();
glRotatef(alfa,0,1,0);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);
glTranslatef(0,0,5);
glutSolidCube(2);
glPopMatrix();**
- b. **glPushMatrix();
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);
glRotatef (alfa,0,1,0);
glTranslatef(0,0,5);
glutSolidCube(2);
glPopMatrix();**
- c. **glPushMatrix();
glRotatef (alfa,0,1,0);
glTranslatef (0,0,5);
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);
glutSolidCube(2);
glPopMatrix();**
- d. **glPushMatrix();
glLoadIdentity();
glLightfv(GL_LIGHT0, GL_POSITION, pos);
glPopMatrix();
glPushMatrix();
glRotatef (alfa,0,1,0);
glTranslatef(0,0,5);
glutSolidCube(2);
glPopMatrix();**

61. (2013-2014 1Q) Una escena està formada per tres cubs d'aresta 2, centrats als punts (-5,0,0), (0,0,0), (5,0,0) i amb cares paral·leles als plans de coordenades. Els cubs són de color magenta mat.

Ubiquem un focus de llum blanca en la posició (0,0,0). No hi ha llum ambient. De quin color s'observaran les cares dels cubs ubicades en $x=6$ i $x=-4$?

Observació: la ubicació de la càmera permet veure les dues cares.

- a. Es veuran negres perquè el focus de llum està dins del cub centrat en (0,0,0).
- b. Si es té activat el *back-face culling*, es veuran les dues cares de color magenta, més fosca la de $x=6$ perquè està més lluny del focus.
- c. **Es veurà la cara en $x=6$ negra i la $x=-4$ de color magenta.**
- d. Si es té activat el *back-face culling*, es veuran les dues cares de color magenta, més fosca la de $x=-4$.

62. (2013-2014 2Q) Es vol visualitzar un terra vermell polit de 10×10 , el centre del terra està en (0,0,0) i la seva normal (0,1,0). Les constants de material són $k_a=(0,0,0)$, $k_d=(1,0,0)$, $k_s=(1,1,1)$ i $n=100$. S'il·lumina amb un focus de llum groga ubicat en (0,5,0), l'observador està en (5,5,0). Un estudiant (E1) modela el terra amb un sol quadrat, mentre que altre estudiant (E2) ho fa amb 100 quadrats de 1×1 tots amb el mateix material. Si el codi OpenGL de cada estudiant és correcte (càmera i il·luminació), i si utilitzen *smooth shading*. Selecciona la resposta correcta.

- a. **E2 veurà una zona de vermell brillant al centre que es degrada a vermell fosc cap a les cantonades del terra virtual; i una taca especular groga a un costat de la zona vermella brillant. E1 veurà tot el polígon d'un color vermell constant.**
- b. Si utilitzen normal per vèrtex, les imatges d'ambdós estudiants seran similars i es veurà una zona de vermell brillant al centre que es degrada a vermell fosc cap a les cantonades del terra; i una taca especular groga a un costat de la zona vermella brillant.
- c. Si utilitzen normal per vèrtex, les imatges d'ambdós estudiants seran similars i es veurà una zona de vermell brillant al centre que es degrada a vermell fosc cap a les cantonades del terra; i una taca especular blanca a un costat de la zona vermella brillant.
- d. Si utilitzen normal per cara, E1 veurà tot el polígon de color vermell constant amb una taca especular blanca en un vèrtex; E2 veurà una zona de vermell brillant al centre que es degrada a vermell fosc cap a les cantonades del terra; i una taca especular blanca a un costat de la zona vermella brillant.

63 (2013-2014 2Q) Una escena està formada per dos cubs d'aresta 2 amb cares paral·leles als plans coordenats i centres als punts (0,1,0) i (3,1,0). El primer és vermell i el segon verd. Ambdós són mat. Per error, s'ubica l'usuari a la posició (0,1,0) amb VRP al (3,1,0). L'òptica és axonomètrica amb un *window*=(-4,4,-4,4), $zN=-1$, $zF=6$. S'ubica una llum blanca a (8,1,0). Si no hi ha llum ambient, i el *background* és blau, indica què es veurà en funció del mètode d'eliminació de parts amagades que s'utilitzen:

- a. **Si només s'empria *back-face culling*: un quadrat de color negre**
- b. Si tenim *zbuffer* i *back-face culling* activats: un quadrat de color verd
- c. Si només tenim el *zbuffer* activat: un quadrat de color vermell
- d. Si només tenim *back-face culling* activat: un quadrat de color verd

Solucions

1. Com que l'esfera es veu groga quan s'il·lumina amb llum blanca, les constants de reflexió difusa del material han de ser del tipus $(a,a,0)$. Suposem que els colors ambient $(0.2,0.2,0)$, difós $(0.5,0.5,0)$. La constant especular pot ser $(1,1,1)$ i $N=50$, donat que és una esfera metàl·lica i, per tant, especular. Com la llum ambient és blanca, la contribució ambient és groga i tant la difosa com l'especular donen un color verd ja que és el producte de la intensitat del focus $(0, 1, 0)$ per les constants de material. El que veiem es:
 - La zona inferior, a l'ombra, de color groc fosc
 - La zona superior, afectada pel terme de Lambert, de color verd amb un màxim a la direcció en que el vector normal a l'esfera es dirigeix cap al focus de llum
 - A més, veurem el reflex especular (terme de Phong) verd molt brillant en el punt que la reflexió especular tingui la direcció de visió del punt.
16.
 - a) Quan s'executa la crida `"glLightfv(GL_LIGHT1, GL_POSITION, pos);"` cal tenir en compte la matriu de `MODELVIEW`, que afectarà a la posició del focus `pos`. La matriu en aquest punt del codi és la identitat, això vol dir que la posició que li hem donat al focus de llum quedarà situada en la posició $(0,10,0)$ respecte al sistema de coordenades de l'observador. Com que l'observador, quan enviem a pintar, està a la posició $(15,0,10)$ respecte del sistema de coordenades de l'aplicació, i està mirant perpendicularment al pla XY i amb vector up $(0,1,0)$; el focus de llum, en el moment de calcular el color en els vèrtexs, estarà situat a la posició $(15, 10, 10)$ respecte al sistema de coordenades de l'aplicació.
 - b) Si en el codi no hi hagués la crida `"glLoadIdentity();"`, la matriu que afectaria a la posició del focus de llum seria la mateixa que produeix el canvi de sistema de coordenades del SCA al SCO quan enviem a pintar i, per tant la posició del focus de llum seria la posició $(0,10,0)$ respecte al SCA (és una llum que està sempre en la mateixa posició relativa respecte als objectes de l'escena).
40.
 - (a) Donat que el polígon és mate, no ha de reflectir llum especular: $ks_\lambda=(0,0,0)$; com ha de ser de color gris, kd_λ i ka_λ han de ser $r=g=b$; per exemple: $kd_\lambda=(0.8,0.8,0.8)$ i $ka_\lambda=(0.2,0.2,0.2)$ per a donar menys pes a la reflexió ambient.
 - (b) Donada la posició dels focus i les distàncies entre vèrtexs, cada vèrtex està il·luminat, pràcticament, només pel focus que té a sobre (la contribució dels altres serà pràcticament nul·la degut a l'angle entre la direcció de la llum incident i la normal en el vèrtex). A més, l'angle entre la direcció d'il·luminació i la normal de la cara en el vèrtex és de 0° ($\cos 0^\circ=1$). Cada vèrtex quedarà del color del focus que té a sobre: $I_\lambda(V) = I_{\lambda f} * kd_\lambda$
El shading de Gouraud interpola el color en cada fragment de la rasterització en funció de la seva distància als vèrtexs del polígon. Concretament, l'aresta entre $V1$ i $V2$ quedarà blava, entre $V2$ i $V3$ trobarem colors de blau a vermell passant per magenta, de $V3$ a $V4$ de vermell a verd passant per groc i de $V4$ a $V1$ de verd a blau passant per cyan,; cap al centre del polígon trobarem un color funció de la seva distància als vèrtexs (arestes) i, per tant, hi podem trobar la suma de tots els colors que produirà un gris.
 - (c) Les cares dels cubs amb normal segons els eixos Y i Z no reben llum, donat que la normal en els seus vèrtexs forma un angle superior a 90° amb la direcció d'incidència de la llum en ells; es veuran negres. La cares amb normal segons $+X$ (i $-X$) es veuran verdes (vermelles) perquè l'angle de la normal en els seus vèrtexs i la direcció de la llum del focus verd (vermell) és $<90^\circ$. Noteu que l'angle esmentat és el mateix per tots els vèrtex d'una cara; per tant, encara que es faci colorat de Gouraud, seran d'un color uniforme. A més, la cara verda (vermella) del cub més proper al focus verd (vermell) serà més fosca que la cara de l'altre cub del mateix color perquè l'angle entre la normal als seus vèrtexs i la direcció d'incidència de la llum en ells és més gran (cosinus més petit).

41.

- llum 0; és una llum de càmera ja que el focus es posiciona amb la matriu identitat a la matriu Modelview => com que pos0 és (0,0,0), la posició del focus serà exactament la posició de l'observador, és a dir, (1,1,1)
- llum 1 és llum d'escena ja que el focus es posiciona amb la mateixa matriu Modelview que l'escena: posició (10,10,0)
- llum 3 també es posiciona amb la mateixa matriu Modelview de l'escena, però en aquest cas el focus és direccional: direcció de llum (10,10,0)
- llum 2 és llum d'escena però abans de "mirar-la" amb la càmera la transladem a la posició posCotxe: posició=pos2+posCotxe

58. Donat que el model d'il·luminació és Phong, es calcularà el color en els vèrtexs de les cares tenint en compte la reflexió difusa i l'especular.

$$I(V) = I_f k_d \cos(fita) + I_f k_s \cos^n(f_i)$$

Fita= angle entre la normal en un vèrtex V i la direcció de la llum incident en ell.

Fi= angle entre el raig reflectit en el vèrtex V i la recta que uneix el vèrtex amb l'observador.

El color als punts interiors de les cares es calcularà interpolant el color dels seus vèrtexs (smooth shading).

El focus està situat sobre la recta que passa just pel mig de les cares $x=10$ i $x=40$; per tant, pels 4 vèrtexs d'una mateixa cara l'angle entre la direcció d'incidència de la llum i la seva normal és el mateix i, per tant, tots els vèrtexs tindran el mateix color difus => color de la cara constant. Podem descartar la resposta d.



Com les dues cares tenen el mateix color verd, són il·luminades pel mateix focus groc (per exemple, $I_f=(1,1,0)$); però l'angle fita és més gran pels vèrtexs de la cara $x=40$ que per la cara $x=10$ => la cara $x=40$ és veurà més fosca ($\cos(fita)$ serà més petit pels seus vèrtexs). Per tant, podem descartar les respostes b i c.

Comprovem que la resposta a és correcta. Noteu que és impossible que l'observador vegi una taca especular al mig de la cara $x=40$ per molt especular que sigui, perquè el color es calcula en els vèrtexs. Com a molt podria veure la taca especular en un vèrtex (i aquesta resposta no hi és).