Topología

Segundo cuatrimestre - 2013

Práctica 4

Compacidad y axiomas de separación

Compacidad

1. Pruebe que si X tiene la topología del complemento finito, entonces es compacto.

2. Decida si $[0,1]$ es compacto para
   (a) la topología $\{U : [0,1] \setminus U$ es numerable o igual a $[0,1]\}$.
   (b) la topología de subespacio de $\mathbb{R}_l$.

3. Sean $\mathcal{T}, \mathcal{T}'$ dos topologías en X.
   (a) Pruebe que si τ' es más fina que τ y (X,τ') es compacto, entonces (X,τ) es compacto.
   (b) Pruebe que si (X,τ) y (X,τ') son compactos y Hausdorff, entonces o bien $\tau = \tau'$ o bien τ y τ' no son comparables.

4. Sean X e Y espacios topológicos, con Y compacto y Hausdorff. Puebe que una función $f : X \to Y$ es continua si y sólo su gráfico $\Gamma_f = \{(x, f(x)) \in X \times Y : x \in X\}$ es cerrado en $X \times Y$.

5. Sea (X,τ) un espacio topológico y sea $\tau_c = \{U \in \tau : X \smallsetminus U$ es compacto$\} \cup \{\varnothing\}$. Pruebe que τ_c es una topología sobre X.

6. Sea X espacio métrico. Pruebe que las siguientes afirmaciones son equivalentes:
   (a) X es acotado para toda métrica que induzca la topología de X.
   (b) Toda función continua $\phi : X \to \mathbb{R}$ es acotada.
   (c) X es compacto.

7. Considere el siguiente producto fibrado.

$$\begin{tikzcd} P \arrow[r] \arrow[d] \arrow[dr, phantom, "\text{pull}"] & X \arrow[d] \\ Z \arrow[r] & Y \end{tikzcd} \qquad P = X \times_Y Z$$

   Pruebe que si X y Z son compactos, e Y Hausdorff, entonces P es compacto.
   Halle un ejemplo en el que Y no sea Hausdorff y P no sea compacto.

8. Sea $f : X \to Y$ suryectiva y propia. Pruebe que si X es Hausdorff, entonces Y también lo es.

9. Sean X e Y espacios topológicos, y sean $A \subseteq X$, $B \subseteq Y$ subespacios compactos. Pruebe que si W es un abierto de $X \times Y$ tal que $A \times B \subseteq W$, entonces existen abiertos $U \subset X$ y $V \subseteq Y$ tales que $A \times B \subseteq U \times V \subseteq W$.

Compacidad local

10. Pruebe que $\mathbb{Q}$ no es localmente compacto.

11. Pruebe que $[0,1]^\omega$ no es localmente compacto con la topología uniforme.

12. Pruebe que si $\prod_{i\in I} X_i$ es localmente compacto y $X_i \neq \varnothing$ para todo i, entonces cada X_i es localmente compacto y todos los X_i, salvo una cantidad finita, son compactos.

13. Pruebe que si X es localmente compacto y $f : X \to Y$ es continua y abierta, entonces $f(X)$ es localmente compacto. Halle un ejemplo que muestre que la hipótesis f abierta es necesaria.

Compactificación de Alexandroff

14. Pruebe que la compactificación a un punto de $\mathbb{N}$ es homeomorfa a $\{0\} \cup \{1/n : n \in \mathbb{N}\}$ con la topología subespacio de $\mathbb{R}$.

15. Usando la proyección estereográfica $p : S^n \setminus \{N\} \to \mathbb{R}^n$ definida por

$$p(x_1, \ldots, x_{n+1}) = \frac{1}{1 - x_{n+1}}(x_1, \ldots, x_n)$$

pruebe que la compactificación a un punto de $\mathbb{R}^n$ es homeomorafa a S^n.

16. Pruebe que si $f : X \to Y$ es un homeomorfismo, entonces f se extiende a un homeomorfismo entre sus compactificaciones a un punto.

Axiomas de separación

17. Pruebe que si X es regular, entonces dos puntos distintos cualesquiera de X admiten entornos cuyas clausuras son disjuntas.

18. Pruebe que si X es normal, entonces todo par de cerrados disjuntos de X admiten entornos cuyas clausuras son disjuntas.

19. Pruebe que un subespacio cerrado de un espacio normal es normal.

20. Pruebe que si X tiene la topología del orden, entonces X es regular.

21. Sea $\{X_\alpha\}$ una familia de espacios topológicos no vacíos. Pruebe que si $\prod X_\alpha$ es Hausdorff ó regular ó normal, entonces también lo es cada X_α.

22. Sea X un conjunto y sean $\mathcal{T}, \mathcal{T}'$ topologías en X tales que $\mathcal{T} \subset \mathcal{T}'$. Suponiendo que X es Hausdorff (o regular o normal) con una de estas topologías, ¿qué puede deducirse de X con la otra topología?

23. Sean $f, g : X \to Y$ continuas, Y Hausdorff. Pruebe que $\{x : f(x) = g(x)\}$ es cerrado en X.

24. Pruebe que si X es normal y conexo entonces tiene un solo punto o es no numerable.

25. Sea Z un espacio topológico. Si Y es un subespacio de Z, decimos que Y es retracto de Z si existe una función continua $r : Z \to Y$ tal que $r(y) = y$ para todo $y \in Y$.
    (a) Pruebe que si Z es Hausdorff e Y es un retracto de Z, entonces Y es cerrado en Z.
    (b) Sea $A \subset \mathbb{R}^2$ con dos elementos. Pruebe que A no es un retracto de $\mathbb{R}^2$.
    (c) Pruebe que S^1 es un retracto de $\mathbb{R}^2 \setminus \{0\}$.

26. Pruebe que si $\{f_\alpha : X \to \mathbb{R}\}$ es una familia de funciones continuas que separan puntos de cerrados, entonces es inicial.

27. Pruebe que si Y es normal con base $\mathcal{B}$, entonces Y es subespacio de $[0,1]^J$ con $J \subset \mathcal{B} \times \mathcal{B}$.

28. Pruebe que $\mathbb{R}_l \times \mathbb{R}_l$ no es normal, pero es completamente regular.

29. Sea X completamente regular. Sean A, B cerrados disjuntos de X. Pruebe que si A es compacto, entonces existe una función continua $f : X \to I$ tal que $f(A) = \{0\}$ y $f(B) = \{1\}$.

30. Pruebe que si X es localmente compacto y Hausdorff, entonces es completamente regular.

Compactificación de Stone-Čech

31. Sea Y una compactificación T_2 de X, y sea $\beta(X)$ la compactificación de Stone-Čech. Pruebe que existe una función cerrada y suryectiva $g : \beta(X) \to Y$ que se restringe a la identidad de X.

32. (a) Pruebe que si $f : S_\Omega \to \mathbb{R}$ es continua, entonces es eventualmente constante.
    (b) Pruebe que la compactificación en un punto de S_Ω y la compactificación de Stone-Čech son equivalentes.
    (c) Concluya que toda compactificación de S_Ω es equivalente a la compactificación en un punto.

33. Sea X completamente regular. Pruebe que X es conexo si y sólo si $\beta(X)$ es conexo.

34. Sea X discreto.
    (a) Pruebe que si $A \subset X \subset \beta(X)$, entonces $\overline{A}$ y $\overline{X \setminus A}$ son disjuntos, donde las clausuras se toman en $\beta(X)$.
    (b) Pruebe que si U es abierto en $\beta(X)$, entonces $\overline{U}$ es abierto en $\beta(X)$.
    (c) Pruebe que $\beta(X)$ es totalmente disconexa.

Grupos topológicos

Un grupo topológico G es un grupo y un espacio topológico tal que las funciones $(x, y) \mapsto x.y$, $x \mapsto x^{-1}$ y $x \mapsto e$ son continuas.

35. Pruebe que $(\mathbb{R}, +)$, $(S^1, \cdot)$ y $(GL(n, \mathbb{R}), \cdot)$ son grupos topológicos.

36. Pruebe que G es un grupo topológico si y sólo si la función $H : G \times G \to G$, $H(g, h) = g \cdot h^{-1}$ es continua.

37. Pruebe que para cada $a \in G$, las funciones $L_a : G \to G$ y $R_a : G \to G$, definidas por $L_a(g) = a \cdot g$, $R_a(g) = g \cdot a$ son homeomorfismos.

38. Sea G un grupo topológico, sea e el neutro de G y sea U abierto que contiene a e. Pruebe que existe V abierto que contiene a e tal que $V \cdot V \subset U$ y $V^{-1} \subset U$.

39. Pruebe que si un grupo topológico G es T_0, entonces es T_2.

40. Pruebe que si H es un subgrupo de un grupo topológico G, entonces la clausura de H es también un subgrupo. Pruebe que si H es invariante, entonces su clausura también.

41. De los grupos topológicos $GL(n, \mathbb{R}), SL(n, \mathbb{R}), O(n, \mathbb{R}), SO(n, \mathbb{R})$, decida cuáles son compactos y cuáles son conexos.