

PROCESOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS A LA HIDROLOGÍA

PROFESOR: EFRAÍN ANTONIO DOMÍNGUEZ CALLE

I SEMESTRE DE 2011

JUSTIFICACIÓN

La complejidad de los sistemas hidrológicos está aumentando gracias a las interrelaciones que se establecen entre el sistema hidrológico natural y la demanda humana de bienes y servicios ambientales sobre las cuencas. Esto se intensifica con la influencia de procesos de cambio global como lo son el calentamiento y oscurecimiento global. Gracias a esto, las mediciones en los sistemas de monitoreo hidrológico producen registros perturbados que no reflejan sólo los factores que gobiernan los procesos lluvia-escorrentía, sino que también reflejan la influencia de factores emergentes, tendientes a provocar la evolución del sistema hidrológico observado. El presente curso estudia elementos de la teoría de funciones aleatorias con el fin de representar sistemas complejos a través de la conjunción de elementos estructurales y aleatorios, constituyendo de este modo herramientas para la detección de variables de fase emergentes para la expansión de los operadores matemáticos que describen el proceso lluvia escorrentía a diferentes escalas. El curso aborda conceptos básicos de la teoría de funciones aleatorias y los aplica a la extrapolación e interpolación óptima de procesos aleatorios, con aplicaciones en generalización espacial de la escorrentía, formulación de criterios para el diseño de redes de monitoreo hidrológico, optimización de mediciones hidrológicas, predicción hidrológica y modelación de procesos hidrológicos no estacionarios (formulación de escenarios hidrológicos bajo cambio climático global). El elemento conclusivo del curso es la modelación de catástrofes hidrológicas. El curso está orientado a estudiantes de posgrado que hayan culminado, con éxito, el curso de Modelación matemática de procesos hidrológicos (<http://www.mathmodelling.org>) de la Maestría en Hidrosistemas de la Pontificia Universidad Javeriana.

METODOLOGÍA

El curso se aborda con explicaciones magistrales de los contenidos y con la realización de trabajo práctico orientado por el profesor. El desarrollo del curso requiere de aplicación de herramientas informáticas, según la disponibilidad de herramientas y las habilidades del grupo de estudiantes se escoge una de las siguientes herramientas: Visual Basic for Applications, Algún Lenguaje de Visual Studio, Pascal Orientado a Objetos (Delphi), Component Pascal, Python, Matlab, Scilab, Octave.

EVALUACIÓN

El curso tiene tres evaluaciones parciales con porcentajes iguales.

TEMARIO

SESIÓN

1. Introducción (2 sesiones)
 - a. Nociones sobre variables aleatorias;
 - b. Procesos aleatorios y sus características probabilísticas;
 - c. Procesos estacionarios;
 - d. Ergodicidad;
 - e. Derivada e integral de un proceso aleatorio;
 - f. Campos aleatorios.
2. Distribuciones probabilísticas en hidrología (2 sesiones)
 - a. Pruebas de aleatoriedad;
 - b. Pruebas de homogeneidad;
 - c. Familia de curvas de Pearson;
 - d. Pruebas de bondad de ajuste;
 - e. El régimen hidrológico colombiano (Caudales máximos, medios y mínimos);
 - f. El problema del escalamiento de estadísticos (tiempo y espacio)
3. Teoría correlativa de procesos estocásticos (4 sesiones)
 - a. Extrapolación (interpolación) óptima;
 - b. Pronóstico hidrológico con operadores óptimos;
 - c. Campos hidrometeorológicos (precipitación y escorrentía);
 - d. Diseño de redes de monitoreo (Método de Karasiov).
4. Procesos no estacionarios (4 sesiones)
 - a. Ecuación de Fokker – Planck – Kolmogorov unidimensional;

BIBLIOGRAFÍA

(Bendat and Piersol, 1986; Fernández-Abascal et al., 1994; Gardiner, 1985; Haan, 2002 ; Hald, 1952; Sveshnikov, 1968a; Sveshnikov, 1968b)

(Chow et al., 1995; Domínguez et al., 2008; Fernández-Abascal et al., 1994; Foster, 1923; Haan, 2002 ; Hazen, 1914; Klemes, 1995a; Klemes, 1995b)

(Brus and Heuvelink, 2007; Domínguez, 2007b; Domínguez et al., 2009; Domínguez et al., 2000; Haan, 2002 ; Hancock and Hutchinson, 2006; Hoyer and She, 2007; Krzysztofowicz, 2001; Sveshnikov, 1968a; Sveshnikov, 1968b; Sveshnikov, 2007)

(Clarke, 1973; Di Paola and Sofi, 2002; Domínguez, 2004; Domínguez, 2005; Domínguez, 2007a; Friedrich

PROCESOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS A LA HIDROLOGÍA

PROFESOR: EFRAÍN ANTONIO DOMÍNGUEZ CALLE

I SEMESTRE DE 2011

- b. Coeficientes de la EFPK; and Peinke, 1997; Friedrich et al., 2000; Friedrich and Uhl, 1996; Frolov, 2006; Gardiner, 1985; Le Treut et al., 2007; Mamontov, 2005; Naidenov and Shveikina, 2002; Pawula, 1967; Pearson, 1896; Samarsky and Mikhailov, 1997; Schmidt and Lamarque, 2007
 - c. Ecuación de FPK para un proceso multidimensional; ; Siegert et al., 1998; Sokolovskiy, 1930; Sveshnikov, 1968a; Sveshnikov, 1968b; Sveshnikov, 2007)
 - d. Evaluación del riesgo bajo régimen no estacionario. (Khaustov and Kovalenko, 1998; Kovalenko et al., 2005)
5. Evolución de operadores y predicción de catástrofes hidrológicas (2 sesiones)
- a. Las leyes de Darwin en los modelos matemáticos;
 - b. Sistemas adaptativos;
 - c. Bifurcaciones y catástrofes;
 - d. Emergencia de variables de fase;
 - e. Modelación fraccionalmente finita.

BIBLIOGRAFÍA

- Bendat, J.S. and Piersol, A.G., 1986. Random data analysis and measurements procedures. . John Wiley & Sons, New York, 540 pp.
- Brus, D.J. and Heuvelink, G.B.M., 2007. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma*, 138(1-2): 86-95.
- Clarke, R.T., 1973. A review of some mathematical models used in hydrology, with observations on their calibration and use. *Journal of Hydrology*, 19(1): 1-20.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and W., M.L., 1995. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill.
- Di Paola, M. and Sofi, A., 2002. Approximate solution of the Fokker-Planck-Kolmogorov equation. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 17(4): 369-384.
- Domínguez, E., 2004. Aplicación de la ecuación de Fokker-Planck-Kolmogorov para el pronóstico de afluencias a embalses hidroeléctricos (caso práctico de la represa de Betania). *Meteorología Colombiana*, 8: 17-26.
- Domínguez, E., 2005. Pronóstico probabilístico de afluencias para la evaluación de riesgos en embalses hidroeléctricos. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 12: 25.

- Domínguez, E., 2007a. Hydrological scenarios modelling for climate change conditions using the Fokker-Planck-Kolmogorov equation. In: D. Schertzer, P. Hubert, S. Koide and K. Takeuchi (Editors), Proceedings of the PUB Kick-off meeting held in Brasilia, 20–22 November 2002. Red Book. IAHS Press, Brasilia.
- Domínguez, E., 2007b. Pruebas piloto de modelación hidrológica para emitir pronósticos hidrológicos en forma cuantitativa y con uso de modelos auto-regresivos para el horizonte diario, pentadal y decadal de los niveles de agua - Viabilidad científica de la implementación de pronósticos operativos de los niveles del agua a escala diaria, pentadal y decadal, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, Bogotá.
- Domínguez, E., Angarita, H., Ardila, F. and Caicedo, F., 2009. Hydrological Risk Modeling using Adaptive Operators: Overview and applications, 8th International Conference in Hydroinformatics. IAHR, Concepción, Chile, pp. 12.
- Domínguez, E., Niño, R. and Verdugo, N., 2000. Metodología para la optimización de redes hidrométricas. Caso de estudio - área operativa 10, IDEAM, Bogotá.
- Domínguez, E.A., Rivera, H., Vanegas, R. and Moreno, P., 2008. Relaciones demanda-oferta de agua y el índice de escasez de agua como herramientas de evaluación del recurso hídrico colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 32(123): 195-212.
- Fernández-Abascal, H., Guijarro, M., Rojo, J.L. and Sanz, J., 1994. Cálculo de probabilidades y Estadística. Ariel Economía, Barcelona, 580 pp.
- Foster, A., 1923. Theoretical frequency curves and their application to engineering problems. *Trans. Am. Soc. C.E.*, 87: 142.
- Friedrich, R. and Peinke, J., 1997. Statistical properties of a turbulent cascade. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 102(1-2): 147-155.
- Friedrich, R. et al., 2000. Extracting model equations from experimental data. *Physics Letters A*, 271(3): 217-222.
- Friedrich, R. and Uhl, C., 1996. Spatio-temporal analysis of human electroencephalograms: Petit-mal epilepsy. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 98(1): 171-182.
- Frolov, A.V., 2006. Dynamic-Stochastic modelling of long-term variations in river runoff. *Water Resources*, 33(5): 483-493.
- Gardiner, 1985. Handbook of stochastic methods. Springer-Verlag, Berlin, 442 pp.
- Haan, T.C., 2002. Statistical methods in hydrology. Iowa state press, Iowa, 378 pp.
- Hald, A., 1952. Statistical Theory with Engineering Applications John Wiley & Sons Inc.
- Hancock, P.A. and Hutchinson, M.F., 2006. Spatial interpolation of large climate data sets using bivariate thin plate smoothing splines. *Environmental Modelling & Software*, 21(12): 1684-1694.
- Hazen, A., 1914. The storage to be provided in impounding reservoir for municipal water supply. *Trans. Am. Soc. C.E.*, 77: 1539-1640.
- Hoyer, J.L. and She, J., 2007. Optimal interpolation of sea surface temperature for the North Sea and Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 65(1-4): 176-189.
- Khaustov, B.A. and Kovalenko, V.V., 1998. Stable development criteria of hydrological processes and mapping of expected anomaly for the characteristics of annual runoff of river of the former Soviet Union. *Meteorologuia y Guidrologuia*, 12: 96-102.
- Klemes, V., 1995a. The stochastic reservoir - Comment. *Journal of Hydrology*, 165: 371-373.
- Klemes, V., 1995b. Two early contributions to the theory of the stochastic reservoir. *Journal of Hydrology*, 172: 351-354.
- Kovalenko, V., Viktorova, N.V. and Gaidukova, E., 2005. Modelling of hydrological processes. *Guidrometeoizdat*, Saint Petersburg, 538 pp.
- Krzysztofowicz, R., 2001. The case for probabilistic forecasting in hydrology. *Journal Of Hydrology*(249).

PROCESOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS A LA HIDROLOGÍA

PROFESOR: EFRAÍN ANTONIO DOMÍNGUEZ CALLE

I SEMESTRE DE 2011

- Le Treut, H. et al., 2007. Historical Overview of Climate Change. In: S. Solomon et al. (Editors), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 93-127.
- Mamontov, E., 2005. Nonstationary invariant distributions and the hydrodynamics-style generalization of the Kolmogorov-forward/Fokker-Planck equation. *Applied Mathematics Letters*, 18(9): 976-982.
- Naidenov, V.I. and Shveikina, V.I., 2002. A nonlinear model of level variations in the Caspian Sea. *Water Resources*, 29(2): 160-167.
- Pawula, R.F., 1967. Generalization and extensions of the Fokker-Planck-Kolmogorov equations. *IEEE Transactions on information theory*, IT-13(1): 33-41.
- Pearson, K., 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 187: 253-318.
- Samarsky, A. A. and Mikhailov, A., P., 1997. *Mathematical modelling: Ideas, methods and examples*. Nauka, Moscow, 316 pp.
- Schmidt, F. and Lamarque, C.H., 2007. Computation of the solutions of the Fokker-Planck equation for one and two DOF systems. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14(2): 529-542.
- Siegert, S., Friedrich, R. and Peinke, J., 1998. Analysis of data sets of stochastic systems. *Physics Letters A*, 243(5-6): 275-280.
- Sokolovskiy, D.L., 1930. Distribution curve application defining probabilistic yearly runoff fluctuations for european rivers of the USSR. *Gostekhizdat, Leningrad*, 77 pp.
- Sveshnikov, A.A., 1968a. *Applied methods of the theory of random functions*. Nauka, Moskva, 463 pp.
- Sveshnikov, A.A., 1968b. *Problems in probability theory, Mathematical statistics and Theory of Random functions*. Saunders, Philadelphia.
- Sveshnikov, A.A., 2007. *Applied methods for the theory of Markov processes*. Lan, Saint Petersburg, 192 pp.